

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**MORFOLOGIE ŘÍČNÍHO KORYTA KŘÍŽOVÉHO POTOKA
VE VÝCHODNÍCH KRKONOŠÍCH**
Diplomová práce

**MORPHOLOGY OF THE KŘÍŽOVÝ POTOK RIVER CHANNEL
IN THE EASTERN KRKONOŠE MOUNTAINS**

Magdalena Dvořáková
Vedoucí práce RNDr. Zbyněk Engel, PhD.
Hradec Králové 2010

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu své práce RNDr. Zbyňku Engelovi, Ph.D. za ochotu, vstřícnost a materiály, které mi poskytl, dále RNDr. Marku Kasprzakovi, Ph.D. za jeho rady a podklady k práci a v neposlední řadě také všem svým blízkým, kteří mi byli při zpracování práce jakkoli nápomocni.

Prohlašuji, že jsem uvedenou práci vytvořila samostatně za použití řádně citovaných zdrojů.

V Hradci Králové, 25. dubna 2010

ABSTRAKT

Předkládaná práce se zabývá morfologií říčních koryt horských vodních toků, zejména strukturami a tvary, které zde vznikají v důsledku působení fluviálních procesů. Poznatky jsou doloženy na konkrétním případě Křížového potoka ve východních Krkonoších.

Vývoj koryt horských vodních toků je podmíněn mnoha faktory. Specifikem je vyšší relativní výšková členitost reliéfu a s ní spojený větší spád toku, který podmiňuje vznik typických struktur a tvarů. Jsou jimi vodopády, kaskády či peřeje a stupně, které se často vyskytují v sekvencích stupeň-tůň. Dalšími jsou obří hrnce či evorzní kotle. Jiným specifikem koryt horských vodních toků je častá přítomnost deluviálních sedimentů v řečišti a v zalesněných oblastech také překážek z kmenů, větví a dřevních úlomků.

Koryto Křížového potoka se vyznačuje značnou variabilitou, co se týče struktur. Mezi nejčastější patří kaskády a sekvence stupeň-tůň. Častým jevem je hromadění dřevního materiálu a akumulace deluviálních sedimentů a bloků o průměru větším než 1 m, které vytváří v korytě překážky.

ABSTRACT

This master thesis deals with the morphology of mountain river channels – with structures, patterns and shapes resulting from fluvial processes. The findings are documented on the Křížový potok river channel in the Eastern Krkonoše mountains.

There are several specifics which influence the evolution of mountain river channels. The first one is high elevation change and big slope of the river, which determinate the formation of typical structures, such as waterfalls, cascades and steps, often related with pools. Plane bed, riffle-pool and dune-ripple also represent typical structures of mountain river channels. Specific microstructures are represented by potholes.

River channels in forested mountain basins are affected by logs and wood debris, which create local barriers where fine-grained material accumulates.

In the Křížový potok river channel, a high diversity of the channel structures can be seen. The most common structures are step-pools and cascades. The stream is influenced by large accumulation of delluvial sediments and wood debris which create obstacles to the flow.

OBSAH

Poděkování.....	2
Prohlášení.....	3
Abstrakt.....	4
Abstract.....	4
Obsah.....	5
1. Úvod.....	6
2. Morfologie koryt horských vodních toků.....	7
2.1 Procesy.....	10
2.2 Struktury.....	12
2.2.1 Vodopád.....	12
2.2.2 Kaskáda/peřej.....	13
2.2.3 Stupeň-tůň.....	14
2.2.4 Rovné dno.....	15
2.2.5 Tůň-brod/mělčina.....	16
2.2.6 Duna-čeřina.....	17
2.2.7 Shrnutí.....	18
2.3 Tvary	18
3. Metody výzkumu.....	19
4. Fyzicko-geografická charakteristika povodí Křížového potoka.....	22
5. Struktura koryta Křížového potoka.....	30
6. Statistické zpracování kvantitativních charakteristik.....	65
6.1 Výsledky měření.....	65
7. Diskuze.....	69
8. Závěr.....	71
9. Bibliografie.....	73

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Schematické plány koryt Křížového potoka a Skalky

Příloha č. 2 Orientační mapa Křížového potoka

Příloha č. 3 Podélný profil a vybrané příčné profily toku

Příloha č. 4 Plán koryta Křížového potoka

1. ÚVOD

Horské toky a jejich povodí představují z hlediska zastoupení korytových procesů a různorodosti tvarů unikátní oblasti. Je to dáno specifickými přírodními podmínkami, které podmiňují a ovlivňují charakter jejich koryt. Způsob, jakým se říční koryto vyvíjí je předurčen mnoha faktory. Jsou jimi geologická stavba území, litologická variabilita podloží, relativní výšková členitost povodí a jí ovlivněný spád toku, stabilita přilehlých údolních svahů, množství a intenzita srážek, půdní poměry, vegetační pokryv v blízkosti koryta. Soubor všech těchto činitelů a jejich vzájemné působení určuje intenzitu jednotlivých fluvialních procesů a tím i morfologii říčního koryta.

Předkládaná práce obsahuje v úvodní části rešeršní pojednání o morfologických charakteristikách koryt horských vodních toků, zpracované na základě nastudování tuzemské i zahraniční odborné literatury. Před podrobným popsáním základních korytových struktur jsou zmíněny i některé z pojetí typologie horských vodních toků.

V následujících kapitolách je popsáno povodí a především koryto Křížového potoka, který je jedním z pravostranných přítoků Jeleního potoka ve východních Krkonoších. Koryto Křížového potoka bylo zvoleno jako vhodný srovnávací tok pro podobnou metodikou zpracované koryto toku Skałka v severním svahu nedalekého hřebtu Střecha na polské straně Krkonoš. V předkládané práci je určen charakter a tvar koryta, jsou důkladně prozkoumány korytové struktury, které se v něm vyskytují. V další kapitole jsou statisticky zpracovány morfometrické údaje.

Cílem práce je vytvoření podrobné morfologické mapy výše uvedeného toku se zaznačením všech významných jevů a srovnání výsledků se závěry z výzkumu DABROWSKÉ a KASPRZAKA z koryta Skałky na polské straně východních Krkonoš.

2. MORFOLOGIE KORYT HORSKÝCH VODNÍCH TOKŮ

Na úvod je třeba říci, že česká literatura zabývající se detailní morfologií koryt vodních toků v horských oblastech není příliš četná. Na obecné úrovni se této problematice věnuje PILOUS (1986). Z prací zabývajících se konkrétními vodními toky lze jmenovat práci *Ke geomorfologii řečiště Mumlavy* autorů BALATKY a SLÁDKA (1971). Další práce jsou již zaměřené na konkrétní formu či tvar - vodopády či soutěskovitá koryta horských vodních toků zkoumá PILOUS (1989, 1991), evorzní tvary pak např. BALATKA a SLÁDEK (1977).

Poměrné hojné jsou naopak výzkumy zahraničních vědců, především pak těch amerických. Výzkumu prostorového rozšíření aluviálních a skalních úseků v zalesněných horských povodích se věnují MONTGOMERY, ABBE a BUFFINGTON (1996) ve studii *Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins*. Z posledních let se dnovými formami koryt horských vodních toků zabývají TREVISANI, CAVALLI a MARCHI (2009) ve studii *Reading the bed morphology of a mountain stream: a geomorphometric study on high-resolution topographic data*. Návod na mapování říčních koryt obecně přináší HARRELSON, RAWLINS a POTYONDY (1994) v textu *Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique*.

Dále lze jmenovat práci MONTGOMERYHO a BUFFINGTONA (1997) *Channel-reach morphology in mountain drainage basin*, kde jsou detailně popsány struktury vytvářející se v korytech horských vodních toků. Podobným tématem se zabývají také autoři CHARTRAND a WHITING (1999) v textu *Alluvial architecture in headwater streams with special emphasis on step-pool topography*, kteří kladou důraz na morfometrické parametry sekvence stupeň-tůň.

Horské vodní toky a jejich přírodní prostředí patří k nejdynamičtějším přírodním prostředím na Zemi a existuje mnoho faktorů, které se podílejí na vytváření říčního koryta. Mezi geologické faktory patří druh horniny, její tvrdost, odolnost, struktura, textura, či směry a křížení puklin. Z geomorfologického hlediska jsou to relativní výšková členitost povodí, spád toku, sklon a stabilita přilehlých údolních svahů. Nezastupitelnou roli hrají také faktory hydrologické, jakými jsou velikost průtoku, rychlost proudění, kinetická energie toku, či frekvence událostí s extrémními vodními stavy. Poslední jmenované je podmíněno množstvím a intenzitou srážek. Vliv mají dále faktory půdní a vegetační.

Údolí horských toků bývají také často postižena zaledněním či nepřímým působením ledovce, což významně ovlivňuje jejich korytovou morfologii. Příkladem může

být přítomnost balvanů, které často vyplňují ve zvýšené míře horská koryta a které bývají právě periglaciálního původu. (PILOUS, 1976).

Dalším specifikem koryt horských vodních toků je různorodost jejich morfologie. Je možné nalézt téměř rovné koryto v úzkém zářezu do skalního podloží, ale i široké aluviální řečiště (CHALOV, 2006). Obecně lze shrnout, že horské vodní toky se v oblastech horního a středního toku, kde bývá větší spád, obvykle zařezávají do skalního podloží, kdežto na dolních úsecích již většinou velikost spádu klesá a koryta se mohou lépe rozšiřovat (DEMEK, 1988).

Přes výše uvedené důvody opravňující považovat horské vodní toky a jejich koryta za specifické, někteří autoři nerozlišují mezi horskými a rovinnými řekami a zahrnují je buď do skupiny řek meandrujících, nebo nemeandrujících (CHALOV, 2006).

Stejně jako morfologická variabilita koryt horských vodních toků, je široká i variabilita přístupů k jejich klasifikaci a terminologii. Obecně lze všechna koryta včetně horských rozdělit dle jejich substrátu na **aluviální** a **skalní** (např. DEMEK, 1988), MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) vyčleňují z důvodu specifčnosti ještě skupinu **koluviálních** toků.

Aluviální koryta se vytvářejí v sedimentárních náplavách vlastního vodního toku, nezařezávají se přímo do skalního podkladu. Mohou být omezená údolními stěnami, s nepatrně vyvinutou či žádnou údolní nivou, nebo údolními stěnami neomezená, s údolní nivou dobře vytvořenou. Aluviální koryta se vyznačují širokou škálou korytových struktur (viz dále).

V případě skalních koryt teče vodní tok přímo na skalním podloží, chybí zde dno tvořené aluviem. Zřídka se může za překážkami v podobě například kmenů malé množství aluviálního materiálu akumulovat. Skalní koryta bývají omezená údolními stěnami a mají větší spád (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1997). Jsou méně citlivá na změny v průtoku a obecně jsou odolnější vůči vnějším změnám, než koryta aluviální. Dynamika jejich toku je dána erozí bází, kterou představuje určitá výška, které řeka přizpůsobuje svůj podélný profil.

Koluviální koryta vodních toků jsou vázána na údolí vyplněná svahovými sedimenty, vyznačují se slabým a nestálým proudem, který množství materiálu není schopen transportovat a dochází tak k jejich hromadění. (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1997).

Územní rozšíření aluviálních a skalních koryt v horských oblastech závisí především na poměru mezi transportní kapacitou a množstvím dnových splavenin v korytě.

Dna skalních koryt či úseků se vyznačují převahou transportní kapacity nad množstvím dnových splavenin, zatímco u koryt aluviálních je tento poměr opačný, případně rovnovážný (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1996). Velikost transportní kapacity záleží především na skonu přilehlých svahů a velikosti povodí. Množství dnových splavenin závisí na odolnosti podloží a rychlosti proudění, tedy obecně na erozních schopnostech vodního toku.

Rozložení aluviálních a skalních úseků koryt horských vodních toků však není vždy trvalé a jednoznačné. Často se může typ koryta v důsledku působení vnějších změn měnit na typ druhý. Takovým příkladem může být např. změna skalního úseku na aluviální v případě půdního sesuvu, který do koryta zavléče sedimenty (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1996). V zalesněných povodích mají také zásadní význam popadané či pokácené stromy nechané na místě, jejichž kmeny mohou ovlivnit nejen morfologii koryta, ale i vodní ekosystém. Velké kmeny vytváří hráze a tím nádrže, ve kterých se hromadí stojatá voda, je znemožněn pohyb sedimentů což může vést k vytváření aluvií v jinak skalních korytech. V nádržích poté vznikají odlišné ekosystémové poměry a stávají se tak útočištěm vodních živočichů, kteří by zde jinak žít nemohli (MONTGOMERY – BUFFINGTON, 1996). Výzkumy MONTGOMERYH a BUFFINGTONA (1996) ukazují, že po odstranění překážek v podobě kmenů se opět obnovuje transport sedimentů a koryto se vrací ke svému skalnímu charakteru. Kmeny mohou kromě výše popsaného také zmírňovat spád toku.

CHALOV (2006) rozlišuje horská koryta do čtyř skupin, dle korytotvorných procesů, které v nich převládají. Dále je potom členění dle velikosti povodí a hydrografické hierarchizace do výsledných typů, které shrnuje následující tabulka:

Tab. č. 1 Klasifikace horských vodních toků, upraveno dle CHALOVA, 2006

Koryta horských vodních toků dle korytotvorných procesů	Sklon toku [%]			
	Velikost povodí [km ²]			
	< 10	10 - 100	100 - 1000	> 1000
	Hierarchie dle Scheideggerova schématu			
	< 2	2.0 - 5.6	3.0 - 9.0	> 8.3
S rozvinutými aluviálními formami	15 - 80	7 - 30	5 - 17	1.0 - 14
S nerozvinutými aluviálními formami	25 - 125	18 - 70	7 - 40	2.0 - 20
Vodopádový typ	> 40	> 25	> 20	> 4.0
Bahnotokový typ	> 70	> 30 - 100	> 15 - 30	-
Skalní koryta	Všechny sklony			

Zdroj: CHALOV, 2006

CHALOV (2006) vidí rozdíly mezi jednotlivými typy především v režimu transportu dnových splavenin turbulentním proudem.

Pro koryta horských toků s rozvinutými aluviálními formami je typické, že turbulentní proud není jednotný a rovnoměrný. V hlubších úsecích voda proudí klidně, zatímco v úsecích mělkých, tvořených aluviálními formami, turbulentně. Toto ovšem platí jen v období povodní a vyšších vodních stavů. V období nízkých vodních stavů dochází k tomu, že přestože je v mělkých úsecích splněna podmínka pro turbulentní pohyb ($h/z < 5$, kde h odpovídá hloubce toku v místě dnové nepravidelnosti a z výšce této nepravidelnosti), dochází zde pouze ke stojatému vlnění. Během vyšších vodních stavů se pak proud mění v turbulentní pohyb a stojaté vlnění rozvíjí aluviální formy (CHALOV, 2006).

Horská koryta s nerozvinutými aluviálními formami jsou charakteristická relativně jednotnou hloubkou v rámci celého toku, která je přerušována jen velkými balvany a valouny. Ty vytváří stupně a tím i změny v gradientu vodní hladiny. V takovýchto řekách je poměr $h/z < 5$ udržen v podstatě v jakémkoli bodě koryta a způsobuje stálý turbulentní proud v celé délce toku (CHALOV, 2006). Dále platí, že čím větší částice materiálu vystupují z povrchu koryta, tím tok získává na prudkosti a případná aluvia jsou méně vytríděná.

Vodopádový typ koryta se rozvíjí v případech prudkého spádu vodního toku. Časté jsou u těchto struktur stupně tvořené velkými balvany. Tyto vodní toky se vyznačují nadkritickou rychlostí toku, kterou spojuje CHALOV (2006) s tvorbou obřích hrnců (viz dále).

2.1 KORYTOTVORNÉ PROCESY

Na morfologii a charakteru koryta se podílí tři základní fluvialní procesy. Proces říční **eroze** spočívá v rozrušování a přemísťování částic proudící vodou. Prouděním vzniká smykové napětí, které strhává materiál ze dna a ze břehů. Tyto částice potom během transportu naráží na břehy i dno a tím dochází k uvolňování dalšího materiálu (DEMEK, 1988). Při pohybu sedimentu po dně dochází také k jeho obrušování a výsledkem jsou potom do hladka „omleté“ valounky.

Druh a intenzita říční eroze záleží na rychlosti vodního toku, velikosti průtoku, celkovém ročním odtoku a také na materiálu horninového podloží. Čím odolnější hornina, tím je proces eroze ztížen a zpomalován.

Říční erozi je možné rozdělit na boční a dnovou (hloubkovou), podle oblasti, kde působí. Platí, že boční koryto rozšiřuje, zatímco dnová prohlubuje. Účinkem dlouhotrvající boční eroze může být v první etapě podemílání břehů, při zvýšené intenzitě může dojít až k tzv. řícení břehů, jehož následkem je přísun zemního materiálu do koryta.

Specifickým typem je eroze zpětná, ke které často dochází právě na horních tocích horských vodních toků. Působí v podstatě proti směru proudu a způsobuje tak prodlužování vodního toku a posun jeho pramenů směrem k rozvodí.

Podtypem eroze je *evorze*, která je podmíněna vířivým pohybem vodního toku. Jejím výsledkem jsou pak do hladka vymleté prohlubně různé velikosti – od obřích hrnců až po evorzí kotle (viz dále).

Transportem se rozumí proces přemísťování plavenin nebo dnových splavenin vodním tokem, přičemž u horských vodních toků se jedná převážně o druhý případ. Významný vliv na transport dnových sedimentů má především rychlost proudění vodního toku – s větší rychlostí stoupá i tzv. unášecí schopnost vodního toku, která vyjadřuje maximální množství pevných látek, které je vodní tok schopen transportovat během daného průtoku (STRAHLER – STRAHLER, 1979).

Termín **akumulace** označuje hromadění materiálu transportovaného vodním tokem. U horských toků k ní dochází především v dolních úsecích, kdy je spád toku menší a nedochází k dalšímu transportu. Akumulační oblasti také mohou vznikat před překážkou tvořenou například kmeny, větvemi, či skalními bloky (MONTGOMERY – BUFFINGTON, 1996).

2.2 STRUKTURY

Na úvod této kapitoly je třeba uvést, že terminologie týkající se struktur korytově morfologie je značně nejednotná. V případě zahraničních výzkumů často nejsou do češtiny zavedeny jednoznačné ekvivalenty a tak nezhledka dochází k záměnám či omylům. Mou snahou bylo shrnout termíny zjištěné v nastudované odborné literatuře, pro lepší porozumění jsou v závorce za každým termínem uvedeny anglické ekvivalenty. V případě nejednoznačného překladu jsou uvedeny oba používané české termíny oddělené lomítkem.

Dále platí, že ne vždy je možné jasně určit o jakou strukturu se jedná, neboť může docházet k jejich kombinacím, či přechodným tvarům. Ty jsou uvedeny vždy v závěru podkapitoly.

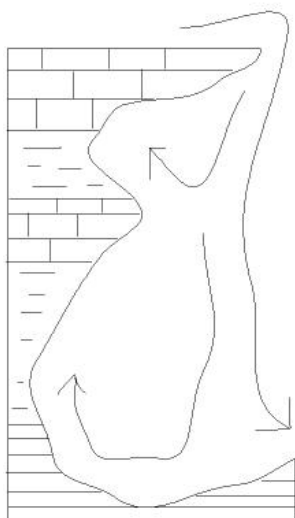
2.2.1 Vodopád, vodopádový stupeň (*cascade*, příp. *waterfall*)

Termín “cascade” v angličtině označuje jak vodopád, tak i kaskádu, a proto může docházet k záměnám těchto termínů. Vodopád musí dle PILOUSE (1989) splňovat následující podmínky. V úseku vodopádu padá voda svisle nebo obloukem přes danou skalní hranu bez kontaktu s podložím, případně stéká po velmi strmé až svislé skále při sklonu hladiny 70° - 90° . Dále se zohledňuje také výška přepadu, odlišná v různých regionech (např. v Krkonoších 3 – 5 m). V našich poměrech je termínem „vodopád“ označován i vysoký svislý stupeň, přes který voda stéká s průměrným sklonem 30° – 70° (PILOUS, 1989).

Vodopády vznikají ze dvou základních příčin. První z nich je strukturně-geologická, kdy je říční dno tvořeno různě odolnými horninami a druhá je morfologická, kdy vodopády vznikají na zlomových svazích či visutých údolích v dříve zaledněných oblastech (STRAHLER - STRAHLER, 1979).

Proudění se v těchto strukturách vyznačuje vysokou kinetickou energií, která způsobuje hloubkovou erozi a jsou tak odkrývány tvrdé horninové polohy. To může vyústit až v ústup přepadové hrany vodopádu, která může být vlivem zpětné eroze vyklenuta do podkovovitého tvaru (SMOLOVÁ – VÍTEK, 2007).

Obr. č. 1 Boční pohled na vodopád – šipky naznačují pohyb proudící vody



Zdroj: upraveno dle SMOLOVÁ – VÍTEK, 2007

2.2.2 Kaskáda, peřej (*cascade*)

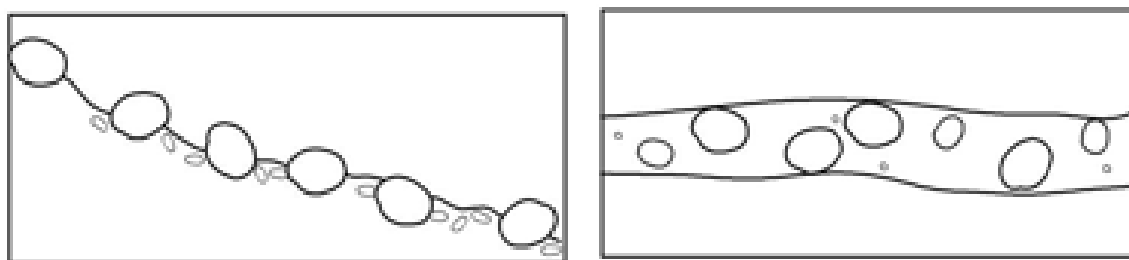
Kaskády se vyznačují stupňovitými partiemi, které tvoří valouny a balvany nepravidelně rozmístěné po stranách i ve středu koryta. Většinou se vyskytují v oblastech vyššího spádu, často bývají ohraničeny údolními stěnami. Obvykle se vytváří soustavy kaskád, které od sebe mohou být případně odděleny drobnými tůňemi, menšími než je šířka koryta (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997), nebo se vyskytují samostatně. PILOUS (1989) považuje za kaskády i takové formy, kdy voda stéká po skalním podloží s průměrným sklonem až 70°, které jsou běžně považovány za vodopády.

Systém proudění v kaskádách je takový, že voda přetéká přes větší částice a kolem nich prudkým spojitým proudem, který se po přechodu překážky rozpadá a vzniká tak dojem “bílé vody” (CHARTRAND - WHITING, 1999). Při tomto typu proudění dochází k rozptýlení značné části kinetické energie. To spolu s velikostí valounů a balvanů tvořících dno často způsobuje jejich odolnost vůči transportu a to vyjma extrémních povodňových událostí. Kolem valounů a balvanů dochází v době nižších vodních stavů k zachycování jemnějšího materiálu a štěrku. Jakmile však dojde ke zvýšení vodního stavu či dokonce povodňové události, jsou tyto sedimenty beze zbytku uvolněny a dochází k jejich odnosu. Tento fakt spolu s nízkým obsahem sedimentů během mírných a vyšších stavů vedl odborníky k závěru, že primární funkcí kaskádového systému je rychlý transport sedimentů do oblastí s nízkým sklonem koryta. Kaskády patří mezi koryta s omezenou

zásobou sedimentů. (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997). Mohou se vyskytovat také v kombinaci s formou stupeň-tůň, v podobě formace kaskáda-tůň.

Peřej je označení pro menší a nižší kaskádu, která se může vyskytovat i v jiných než horských vodních tocích (SMOLOVÁ – VÍTEK, 2007).

Obr. č. 2 Podélný profil kaskádou a půdorys kaskádového typu koryta



Zdroj: upraveno dle MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997

2.2.3 Stupeň-tůň (*step-pool*)

Tyto sekvence jsou charakteristické příkrými stupni v podélném profilu, které se střídají s tůňmi. Stupně jsou tvořeny příčnými akumulacemi hrubozrného klastů (valounů a balvanů), které vytvářejí náhlé místní zvýšení spádu hladiny (DEMEK, 1988), zatímco dna tůní jsou tvořena jemnějším materiálem. Podmínky vzniku této struktury shrnuli CHARTRAND a WHITING (1999) do čtyř bodů. Jedná se o 1) příkrý sklon koryta ($> 0,03$ m/m), 2) dno tvořené heterogenním materiálem, kde velké klasty nejsou schopny transportu, 3) výskyt povodňových událostí a přívalových vod s velkým objemem vody, ale nízkou frekvencí (20-50 let) a 4) nízké množství sedimentů a tedy i jejich nízký transport. MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) uvádějí také malý poměr šířky koryta ku jeho hloubce a omezení údolními stěnami.

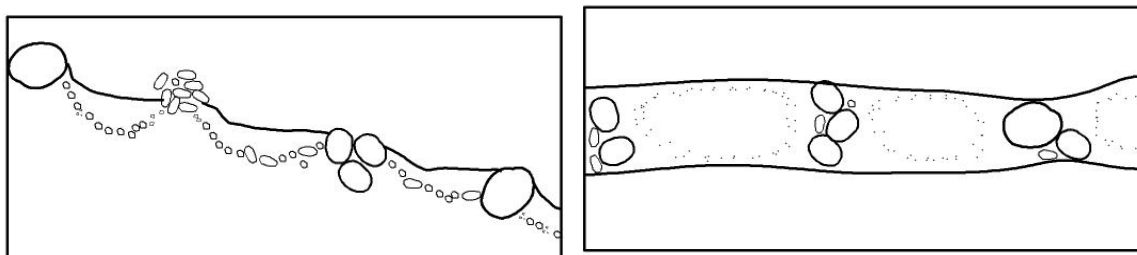
Názor na vzdálenosti mezi následujícími tůňmi se u jednotlivých autorů liší. MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) uvádí jejich rozestup ve vzdálenosti odpovídající přibližně jeden až čtyřnásobku šířky koryta. V každém případě však platí, že jejich rozložení odráží největší odolnost vůči proudu a je tak udržena stabilita koryta.

Systém proudění ve struktuře stupeň-tůň spočívá ve střídání kritického až nadkritického proudu toku v oblasti stupňů a podkritického v oblasti tůní. Co se týče transportu sedimentů je stav podobný jako u kaskád. Jemnozrnější materiál tvořící dna tůní je během středních a vyšších vodních stavů přemísťován a znovu ukládán do jiných tůní. MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) tedy soudí, že i zde je transport sedimentů omezen jejich množstvím.

U sekvence stupeň-tůň lze sledovat několik morfometrických parametrů. Jsou jimi například výška stupně, vlnová délka tůně, zrnitostní složení materiálu ve stupních a tůních, hloubka výmolu či šířka koryta v místě stupně. Podrobným sledováním těchto charakteristik dospěli CHARTRAND a WHITING (1999) k závěrům, týkajících se jejich vzájemných vztahů. Studie ukazují, že nejsilnější korelaci mají vlnová délka tůně a výška stupně, dále vlnová délka tůně a šířka koryta a vlnová délka tůně a zrnitostní složení akumulací v tůních. Středně silný je vztah mezi výškou stupně a zrnitostním složením sedimentů ve stupních, výškou stupně a šířkou koryta a také hloubkou výmolu a sklonem svahu. Nejslabší vazba je mezi sklonem svahu a výškou stupně či vlnovou délkou tůně.

Hlavní rozdíl mezi kaskádami a sekvencemi stupeň-tůň vychází z prostorového uspořádání různě velkých částic v korytě. Zatímco formace neuspořádaně rozmístěných balvanů a valounů v kaskádách může být podmíněna i jinými než fluviálními procesy (gravitačním či ledovcovým transportem, akumulacemi dřevního materiálu apod.), koryto uspořádané sekvencí stupeň-tůň naopak představuje výsledek ryze fluviální činnosti (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997).

Obr. č. 3 Podélný profil toku v úseku tvořeném stupni a tůněmi a půdorys jeho koryta



Zdroj: upraveno dle MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997

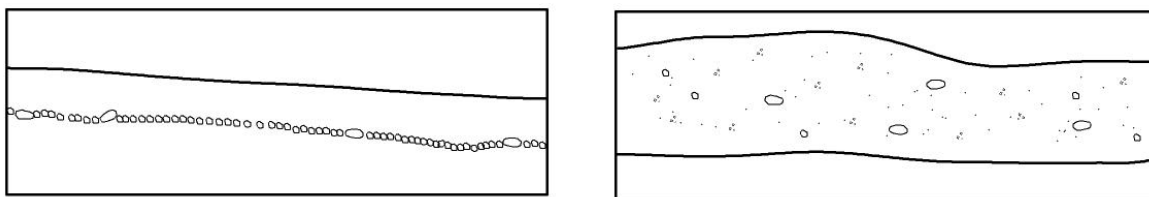
2.2.4 Rovné dno (*plane-bed*)

Koryta označovaná jako rovné dno jsou charakteristická relativně dlouhými a rovnými úseky s absencí morfologicky výrazných dnových forem. Vyskytují se v horských oblastech s menším spádem toku s podložím tvořeným sedimenty různých zrnitostních kategorií, obvykle šterkové až valounové. Tato koryta mohou být omezená údolními stěnami, ale i neomezená s nízkým poměrem mezi šířkou a hloubkou (CHARTRAND - WHITING, 1999).

V úsecích toku s rovným dnem chybí turbuletní i laterální (boční) proudění. Rovná dna jsou považována za přechodný typ mezi koryty s převahou transportu a koryty s převahou sedimentace (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1997).

Rovné dno nemusí být vymezené jednoznačně, může se vyskytovat v kombinaci s formou tůň-brod (viz dále).

Obr. č. 4 Podélný profil toku v úseku s rovným dnem a jeho půdorys



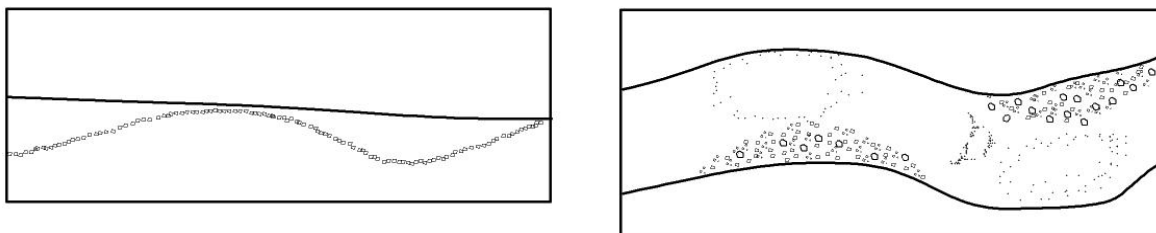
Zdroj: upraveno dle MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997

2.2.5 Tůň-brod/mělčina (*pool-riffle*)

Tato struktura se vyznačuje zvlněným dnem, kde se střídají sekvence hlubších a mělčích úseků (CHARTRAND - WHITING, 1999). Ty hlubší představují topografické deprese - tůně, zatímco ty mělké jsou tvořeny většinou šterkovitými lavicemi zformovanými do lalokovitých útvarů a tvoří tak brody (LEOPOLD - WOLMAN - MILLER, 1992). K tomu, aby se mohly brody vytvářet je zapotřebí dostatečně velký poměr šířky koryta ku hloubce a také heterogenost dna, kde je nejmenší materiál schopen transportu. Dna těchto koryta tedy bývají typicky tvořena šterkem, méně často bývají písčítá či valounová, přičemž platí, že dna tůní jsou tvořena jemnějším materiálem než oblast brodů (LEOPOLD - WOLMAN - MILLER, 1992). Tůně bývají v korytě pravidelně uspořádné, a to v rozsahu pěti až sedmi násobku šířky koryta. V případě vzniku tzv. "nucených" tůní, které se vytváří následkem přítomnosti překážek tvořených kmeny či dřevními úlomky může být rozestup menší (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997).

Sekvence tůň-brod obecně vznikají v úsecích s mírným až nízkým spádem, v místech, kde dochází k výrazné boční oscilaci proudu. Vytváří se následkem vnitřních změn v proudění, které způsobují střídavý pohyb proudnice od jednoho břehu ke druhému. K tomuto vychýlení proudnice přitom dochází i v jinak rovných korytech (LEOPOLD - WOLMAN - MILLER, 1992). Na rozdíl od předchozích struktur se sekvence tůň-brod řadí již mezi koryta s omezeným transportem sedimentů. Tato forma může být kombinovaná s formou rovného dna v podobě mělčinových lavic (*riffle bar*) (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1997).

Obr. č. 5 Podélný profil toku v úseku se sekvencí tůň-brod a jeho půdorys



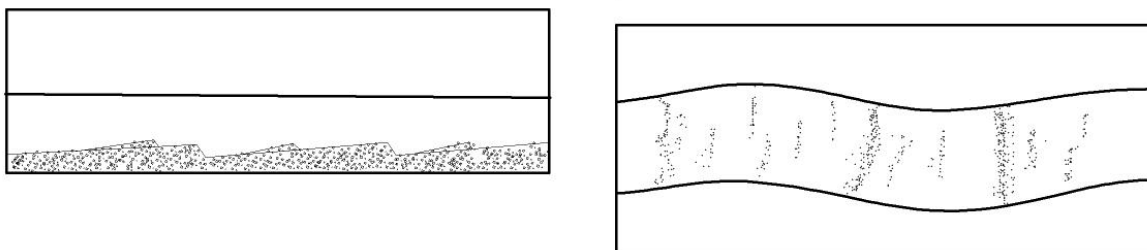
Zdroj: upraveno dle MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997

2.2.6 Duna-čeřina (KLIMENT, ústní sdělení) (*dune-ripple*)

Tato struktura je typická pro koryta s nízkým sklonem v podélném profilu a písčitém dnem, které je zdrojem materiálu transportovaného tokem. Uspořádání sekvence záleží na hloubce toku, rychlosti proudění, dále na zrnitosti dna koryta a na rychlosti transportu sedimentů (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997). Platí, že se zvyšující se rychlostí toku postupně narůstá amplituda čeřin na dně koryta. Čeřiny a duny se od sebe liší především velikostí. Délka vlny u čeřiny nepřesahuje 60 cm, zatímco u duny je 4-8krát větší než hloubka koryta. Výška čeřiny nepřesahuje 4 cm, výška duny odpovídá 1/3 hloubky (KLIMENT, ústní sdělení). Je přitom typické, že se v jednom úseku koryta nevyskytují jen duny-čeřiny jedné velikosti, ale jejich rozměry se mohou lišit (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997). Odlišnost dun a antidun spočívá v jejich podélném profilu.

K transportu sedimentů dochází v případě sekvencí duna-čeřina často specifickým způsobem, kdy se průběžně pohybují sedimenty v celé šíři dna (MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997).

Obr. č. 6 Podélný profil toku v úseku se sekvencí duna-čeřina a jeho půdorys



Zdroj: upraveno dle MONTGOMERY - BUFFINGTON, 1997

2.2.7 Shrnutí

Faktory, které ovlivňují distribuci výše uvedených struktur v korytech horských vodních toků jsou podélný sklon vodního toku, geologické podloží, množství sedimentů, velikost průtoku a přítomnost vnějšího narušení CHARTRAND a WHITING (1999).

Nejčastěji zkoumaným faktorem je sklon koryta. Američtí vědci MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) či CHARTRAND a WHITING (1999) dle svých výzkumů v různých horských povodích vymezili typické sklony, ve kterých se vytváří dané struktury. Jejich shrnutí přináší následující tabulka.

Tab. č. 2 Sklony typické pro korytové struktury v horských vodních tocích

	sklony	
	Montgomery - Buffington, 1997	Chartrand - Whiting, 1999
kaskády	> 0,065	0,050 - 0,120
stupeň - tůň	0,030 - 0,080	0,015 - 0,134
rovné dno	0,010 - 0,040	0,001 - 0,035
tůň - brod	< 0,030	0,001 - 0,015

2.3 TVARY

2.3.1 Obří hrnec (*pothole*), evorzní kotel

Obří hrnce jsou zpravidla drobnější, pravidelné a dobře vykroužené prohlubně většinou oválného či kruhového půdorysu. Jejich průměr i hloubka se pohybují od několika cm až po několik m. Dle místa výskytu je lze rozlišit na obří hrnce na skalním podloží a obří hrnce na volných balvanech, přičemž lze říci, že druhý typ je náročnější na vyšší vodní stavy a s nimi spojenou vyšší kinetickou energii proudu. (BALATKA - SLÁDEK, 1977).

Na vzniku obřích hrnců se podílí komplex několika faktorů. Z geologického hlediska jsou jimi druh horniny, její tvrdost a odolnost, a také její struktura a textura, tedy charakter břidličnatosti a vrstevnatosti, jejich směr vzhledem ke směru proudu, dále intenzita zbřidličnatění, směry a křížení puklin a přítomnost, hustota a směr protažení odolnějších plošek (PILOUS, 1976). Roli hraje také geomorfologický vývoj a ráz údolí, spád toku a v neposlední řadě také vodnost daného vodního toku.

Evorzní kotle jsou rozsáhlejší a hlubší prohlubně vzniklé silnou evorzní činností tekoucí vody. Často vznikají pod vodopády, které disponují dostatečnou kinetickou energií toku.

3. METODY VÝZKUMU

Teoretická část práce vycházela z nastudování odborné literatury zabývající se danou problematikou jak z obecného, tak i regionálního hlediska. V obecné rovině jsem vycházela především z českých a zahraničních pramenů, pro konkrétní příklady byly použity studie převážně zahraniční - americké a dále polské.

Vlastní výzkum na Křížovém potoce probíhal na přelomu srpna a září v roce 2009, tedy v období nižších vodních stavů, které dovolily podrobnější průzkum dna. Před terénním výzkumem byla prostudována mapová díla Základní mapa ČR v měřítku 1 : 10 000, list 03-42-02 a Státní mapa 1 : 5 000 – odvozená, listy Žaclěř 5-2 a 6-2.

Mapována byla celá délka toku (přibližně 1820 m), a to jak od ústí k prameni, tak i v opačném směru. Výzkum byl prováděn z obou břehů a často také z vlastního koryta, neboť příkré svahy a obtížný terén místy nedovolovaly chůzi po břehu.

V první etapě byl pomocí GPS přístroje zaměřen průběh toku a všechny jeho přítoky. Pomocí pásma byla ve vybraných místech měřena šířka koryta. Následovalo mapování fluviálně-geomorfologických forem a jevů, které se v rámci celého koryta vyskytují.

Mapovány byly stupně, tůně, evorzní tvary, skalní výchozy a přepady, ostrovy, překážky z kmenů, větví či dřevních úlomků. Zachycen byl výskyt travních porostů či dřevin v bezprostřední blízkosti koryta. Byly vymezeny úseky se zřetelným podemletím břehů, úseky s převládající erozí a s převládající akumulací. Podél vodního toku byly určeny oblasti s potenciálem zásobování koryta zemním či suťovým materiálem z přilehlých svahů. U vybraných struktur byly zjišťovány i příslušné morfometrické parametry, jakými jsou výška, hloubka či délka. Pomocí pásma byla sledována velikost klastů, a to jak u význačných forem, tak i v úsecích s jejich absencí.

Na základě rešerše byla pro potřeby mapování vytvořena následující legenda:

Obr. č. 8 Legenda k plánu koryta Křížového potoka

Legenda

	I. jemný a střední štěrk (menší než 5 cm)		břehy
	II. hrubý štěrk (6 - 10 cm)		boční eroze
	III. valouny (11 - 50 cm)		akumulace
	IV. balvany (51 - 100 cm)		podemletí břehů
	V. bloky (více než 101 cm)		stromy
	skalní výchoz		zatravnění
	vodní tok		dřevní úlomky, větve
	obrys korytové formy		přírozně spadlé kmeny nezasahující do koryta
	pramen		přírozně spadlé kmeny zasahující do koryta
	směr toku		pokácené kmeny nezasahující do koryta
	hloubka méně než 10 cm		pokácené kmeny zasahující do koryta
	hloubka 11 - 30 cm		cesta
	hloubka 31 - 50 cm		pěšina
	hloubka 51 - 100 cm		
	hloubka více než 101 cm		

Pro rozlišení velikosti klastů byla zvolena velikostní škála použitá v práci DABROWSKÉ a KASPRZAKA (2007), a to z důvodu následného porovnání výsledků obou prací. Tato škála se skládá z pěti kategorií: jemný a střední štěrk (částice o průměru menším než 5 cm), hrubý štěrk (6 – 10 cm), valouny (11 – 50 cm), balvany (51 – 100 cm) a bloky (průměr větší než 100 cm). Za skalní výchoz byl považován výchoz kompaktní horniny o minimální rozloze 0,5 m x 0,5 m. Kmeny ovlivňující jakýmkoli způsobem charakter koryta byly rozděleny na přírozně spadlé a na antropogenně zpracované. Dále bylo rozlišeno, zda kmen zasahuje přímo do koryta či vodního toku a vytváří bariéru, anebo zda koryto pouze přemostňuje a zásobuje ho tak dřevním materiálem. Akumulace dřevních úlomků či větví byly zachyceny v mapě, pokud jejich plocha zabírala významnou část koryta, anebo pokud přímo ovlivňovaly směr vodního toku. Erozní či akumulární úseky byly zaznamenány, pokud jejich délka přesahovala 2 m, stejně tak i úseky s podemletím břehů, u kterých byla dalším kritériem minimální výška 5 cm.

Za stupně byly označeny příčné akumulace v korytě, jejichž přítomnost lokálně zvyšovala spád hladiny, za tůně byly považovány oblasti navazující na stupně či kaskády. u nichž byl patrný výmol ve dně a zrnitostní složení dna bylo tvořeno jemnějšími frakcemi, než stupně. Úseky navazující na stupně, u nichž nebyl jasně zřetelný výmol, nebyly považovány za tůně, i když bylo jejich dno tvořeno jemnějším materiálem než stupně.

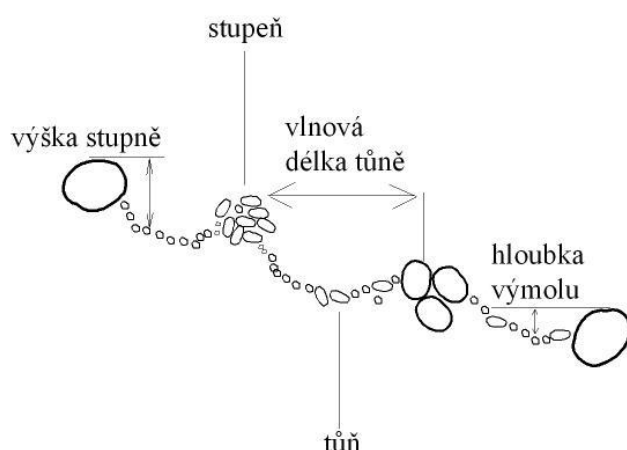
U výše definovaných tůní a stupňů byly zjišťovány následující parametry (v závorkách jsou uvedeny minimální hodnoty pro zachycení v plánu):

výška stupně – výškový rozdíl mezi vrcholem stupně a dnem hned za stupněm (20 cm)

hloubka výmolu – výškový rozdíl mezi nejhlubším místem tůně a vrcholem následujícího stupně (5 cm)

vlnová délka tůně – vzdálenost mezi dvěma následujícími vrcholy stupňů měřena ve střední části tůně (50 cm)

Obr. č. 9 Vybrané parametry sekvence stupeň a tůň



Upraveno dle CHARTRAND – WHITING, 1999.

Všechny parametry týkající se sekvence stupeň-tůň byly měřeny v cm, pro následné grafické zpracování statistických výsledků byly zaokrouhleny na větší jednotky.

Z výsledků terénní práce byl v programu OCAD vytvořen podrobný plán celého koryta v měřítku 1 : 250. Takto velké měřítko bylo zvoleno proto, aby byly dobře viditelné i drobné korytové tvary. Plán byl z důvodu přehlednějšího grafického zpracování rozdělen na úseky, které jsou součástí kapitoly týkající se struktury koryta Křížového potoka.

Morfometrické parametry sekvence stupeň-tůň byly statisticky zpracovány v programu Excel. Pomocí metod CHARTRANDA a WHITINGA (1999) byl zjišťován vztah mezi výškou stupně a vlnovou délkou tůně, výškou stupně a hloubkou výmolu a výškou stupně a velikostí částic stupně.

Doplňkové mapy znázorňující obecně zeměpisné jevy, horninové složení podloží, sklony svahů, geomorfologické členění, půdní typy a vegetační stupně v povodí Křížového potoka byly vytvořeny v prostředí ArcGIS z důvodu grafického doplnění základní fyzickogeografické charakteristiky

4. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ KŘÍŽOVÉHO POTOKA

Vymezení studovaného území

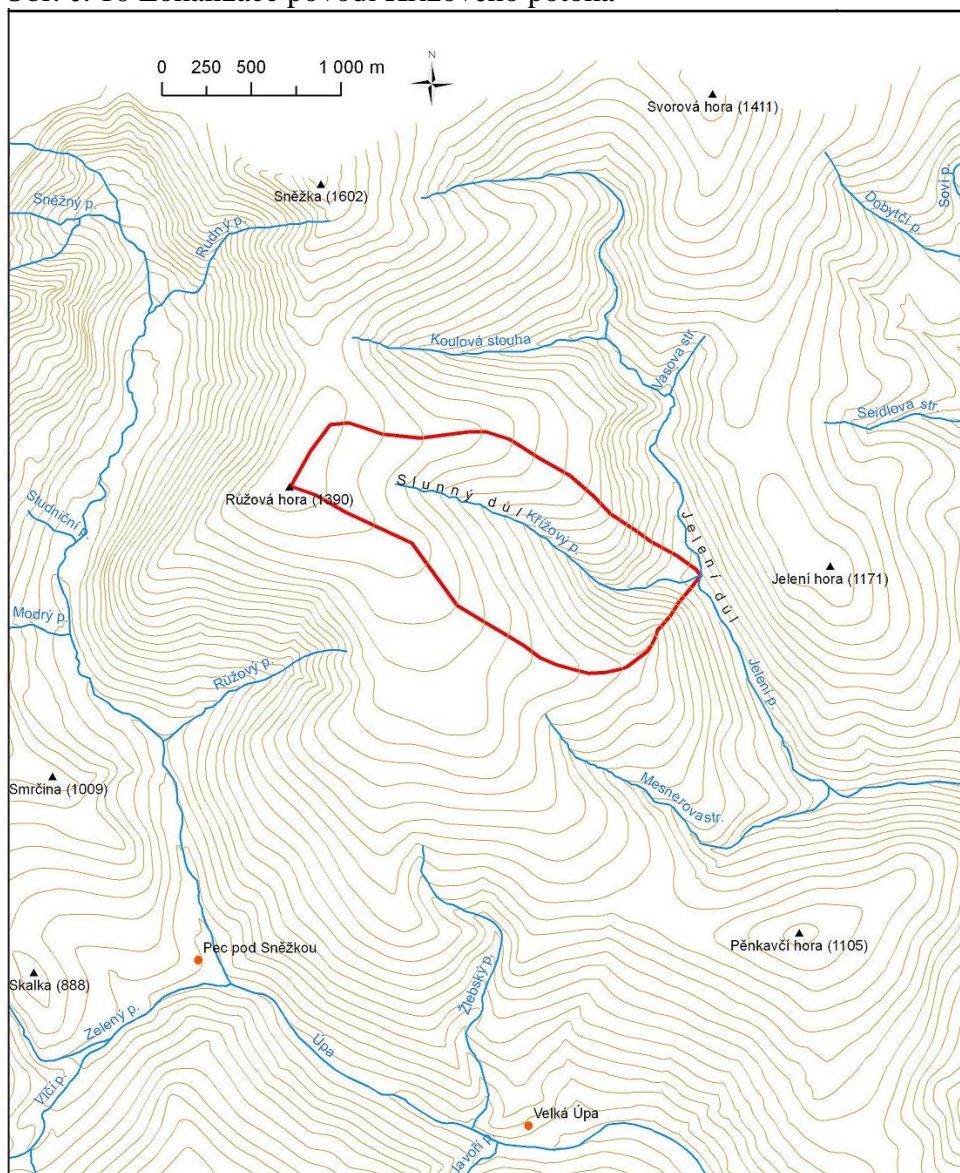
Křížový potok pramení na východních svazích Růžové hory ve východních Krkonoších v nadmořské výšce 1315 m n.m., jeho délka je 1820 m, průměrný sklon činí 22 %. Protéká údolím s pomístním označením Slunný důl. Je jedním z pravostranných přítoků Jeleního potoka (dalšími jsou Messnerova strouha a Koulova strouha), který vytváří údolí mezi masivy Růžové a Jelení hory pojmenované Jelení (někdy také Lví) důl.

Křížový potok patří mezi krkonošské subsekventní vodní toky (PILOUS, 1976), teče ve směru přibližně západovýchodním, a ve výšce 915 m n.m. ústí do Jeleního potoka, který je tokem konsekventním.

Povodí Křížového potoka se rozkládá v nadmořské výšce 915 - 1398 m n.m. Na západě je omezeno Růžovou horou, severní a jižní hranice povodí prochází po hřebetnici přilehlých svahů. Vodní tok je od osy povodí odchýlen severním směrem.

Co se týče ochrany přírody, celé povodí leží na území Krkonošského národního parku, přičemž přibližně tři čtvrtiny povodí náleží do II. zóny ochrany přírody a nejzápadnější, nejvyšší oblast do I. zóny ochrany přírody.

Obr. č. 10 Lokalizace povodí Křížového potoka

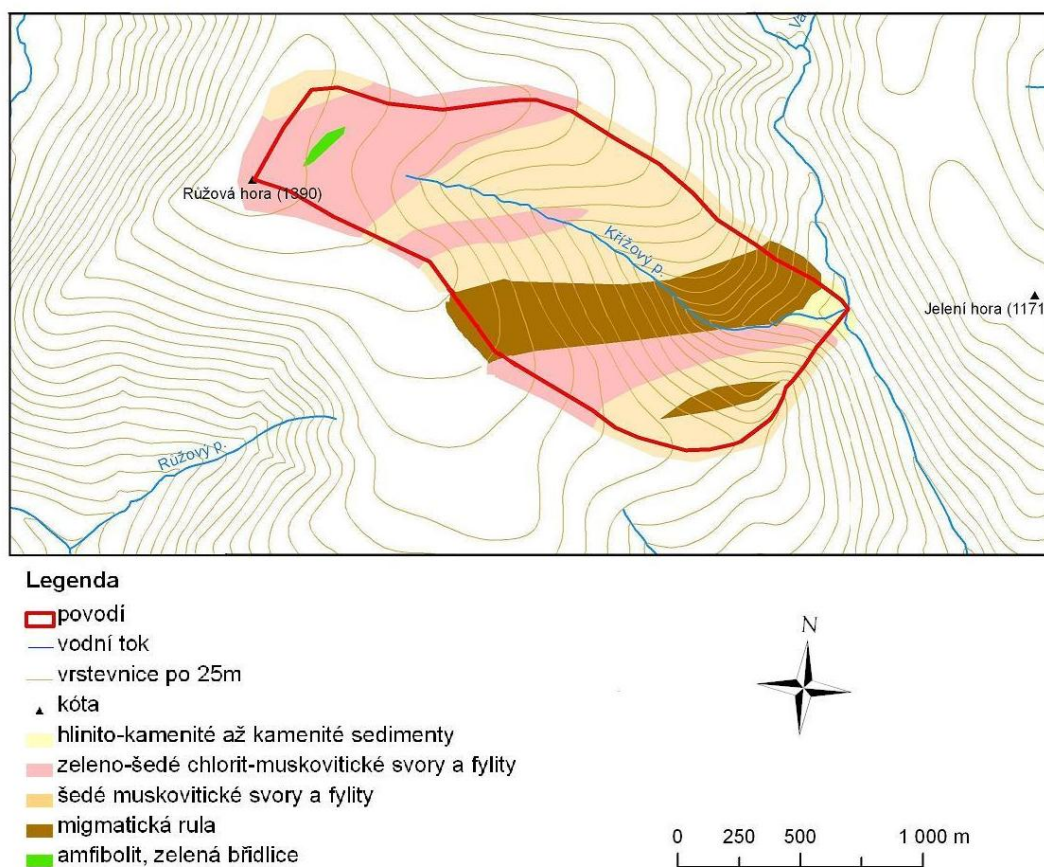


Zdroj: KRNAP

Geologie

Z hlediska geologické regionalizace se povodí Křížového potoka řadí do oblasti Krkonošsko-jizerského krystalinika. Geologická stavba podloží je relativně homogenní. Většinu vyplňují horniny tzv. velkoúpské skupiny, která je nejstarším a nejintenzivněji metamorfovaným souborem krkonošsko-jizerského krystalinika (CHALOUPSKÝ, 1989). Velkoúpská skupina je tvořena až 1000 m mocným souvrstvím neoproterozoických svorů a fylitů, které lze rozdělit do dvou základních souvrství. Starší z nich představují šedé muskovitické albitické svory a fylity a mladší zeleno-šedé chlorit-muskovitické svory a fylity. Obě souvrství mohou místy obsahovat biotit či granát. Neoproterozoické horniny jsou zastoupeny také v podobě dlouhých čočkovitých poloh amfibolitu ve svorech či fylitech v severozápadní části povodí. Střední až jižní část vyplňuje laminovaná drobně okatá migmatická rula stáří svrchního ordoviku (CHALOUPSKÝ, 1989). Podél spodní části dolního toku Křížového potoka až k jeho ústí se nacházejí kamenité až hlinito-kamenité deluviální sedimenty, což dokazuje přítomnost svahových pohybů.

Obr. č. 11 Geologická mapa povodí Křížového potoka

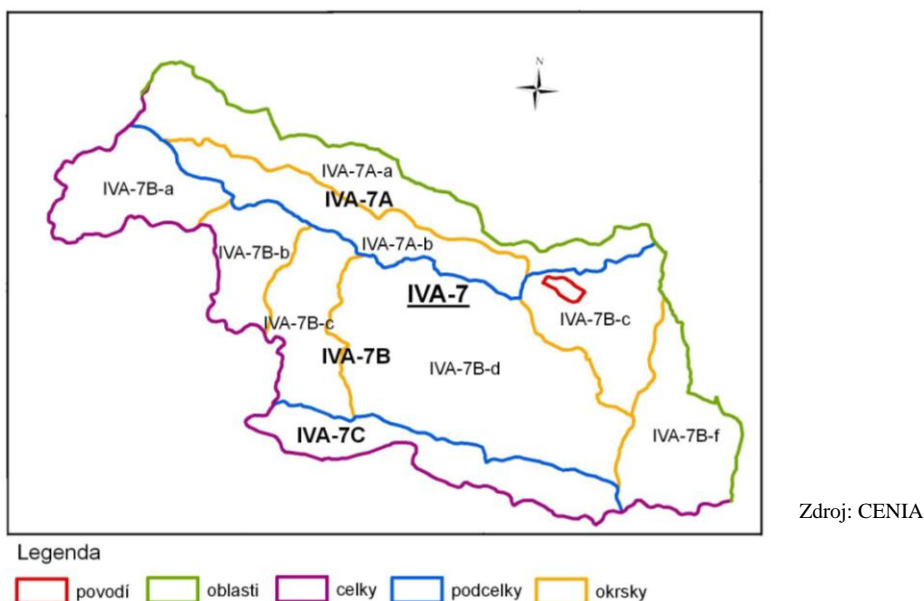


Zdroj: upraveno dle Geologické mapy Krkonoš a Jizerských hor

Geomorfologie

Geomorfologickou regionalizaci povodí zobrazuje následující mapa a tabulka.

Obr. č. 12 Geomorfologická regionalizace povodí



Tab. č. 3 Geomorfologická regionalizace povodí Křížového potoka

system:		Hercynský
subsystem:		Hercynská pohoří
provincie:	I	Český masiv
subprovincie:	I-IV	Krkonoško-jesenická
oblast:	I-IV-A	Krkonožská
celek:	I-IV-A-7	Krkonoše
podcelek:	I-IV-A-7-B	Krkonožské rozsochy
okrsek:	I-IV-A-7-B-c	Růžohorská rozsocha

Zdroj: BALATKA - KALVODA, 2006

Na území povodí Křížového potoka lze nalézt několik odlišných tvarů reliéfu. Pozůstatkem třetihorní peneplenizace, ke které docházelo v důsledku dlouhodobého působení teplého hunidního klimatu (KRÁLÍK – SEKYRA, 1969) jsou nejvyšší partie masivu Růžové hory na západě povodí.

Následné mladotřetihorní saxonské výzdvihové pohyby zapříčinily změnu v odvodňování na české i polské straně Krkonoš. Na jižní, geologicky různorodější straně se začala vytvářet široká úvalovitá konsekventní údolí (KRÁLÍK – SEKYRA, 1969).

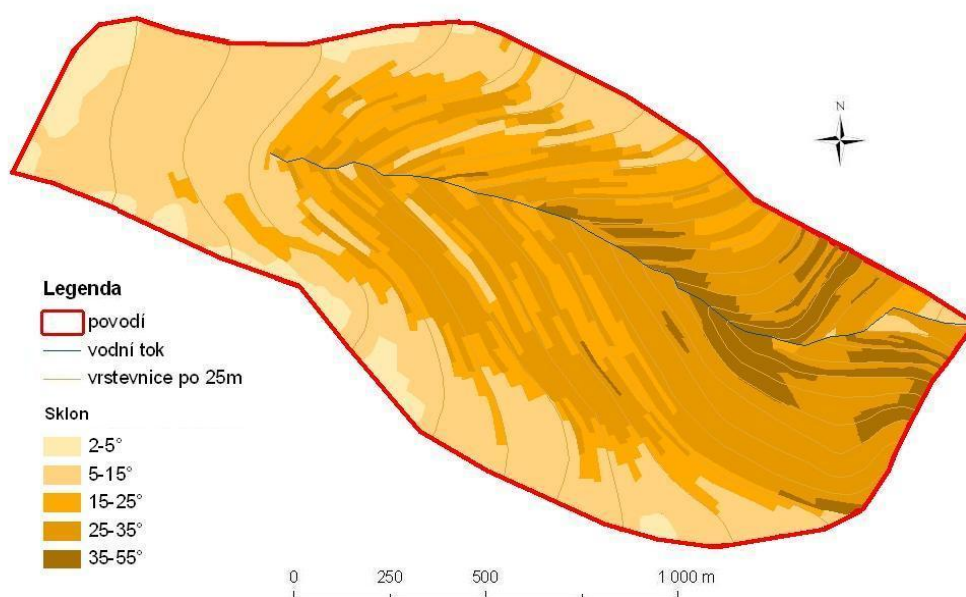
Následovalo období intenzivní eroze, často také zpětné, a došlo k vytvoření hlubokých říčních údolí (SÝKORA a kol., 1983). Ochlazování podnebí spojené s častým střídáním teplot, ke kterému docházelo od konce třetihor, vedlo k mechanickému zvětrávání, zvýšení hloubkové eroze a zintenzivnění zpětné eroze. To způsobilo nevyrovnanost spádů vodních toků a vytvořily se tak stupně a kaskády (KRÁLÍK – SEKYRA, 1969).

Čtvrtohorní blízkost kontinentálního ledovce a horské údolní zalednění Krkonoš vytvářelo glaciální či periglaciální prostředí, které se podílelo na přemodelování starých tvarů. Co se týče povodí Křížového potoka, soudí se, že nebylo významněji zaledněno a nedošlo zde tedy ani k ledovcové modelaci (PILOUS, 2002). Jednalo se pouze o malé ledovce či spíše jen firnové akumulace v závěru údolí, které byly schopné jen nivační eroze (PILOUS, 2002). Chybí zde tedy přímé erozní i akumulární ledovcové tvary.

Naopak významným modelačním činitelem jsou v povodí Křížového potoka svahové procesy, které mohou převyšovat i vodní erozi. Nejvýznamnější z nich jsou mury, hlinitokamenité přívalové proudy, k jejichž odtrhnutí dochází vlivem prudkých letních dešťů, které způsobí přetížení vlivem silného nasáknutí zvětraliny (SÝKORA a kol., 1983). Mury mohou dopravovat do nižších poloh také svahové zvětraliny vzniklé převážně mrazovým zvětráváním v glaciálech (PILOUS, 2002).

Vlastní Slunný důl, kterým protéká Křížový potok je strmě spadající svahové údolí, více než slunné spíše zastíněné vlivem výrazného zalesnění. Sklonitost svahů se pohybuje od méně než 5° v nejvyšších zarovnaných polohách až do více než 35° ve střední části údolí.

Obr. č. 13 Mapa sklonitosti svahů v povodí Křížového potoka

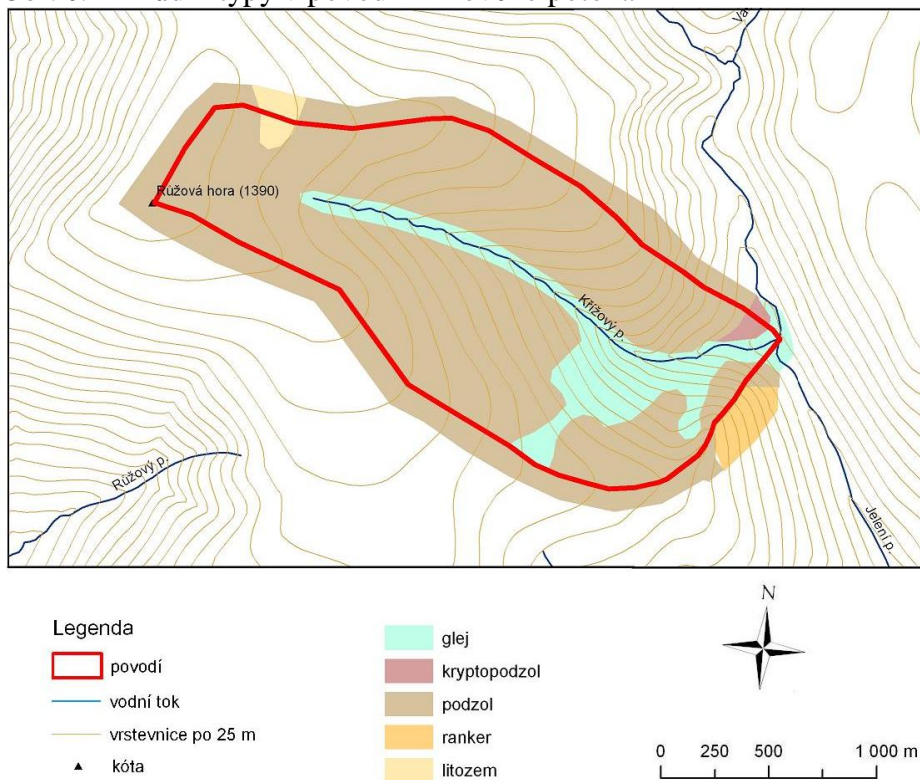


Půdní poměry

Na území povodí Křížového potoka se nachází 5 půdních typů - litozem, ranker, podzol, kryptopodzol a glej. Litozem se typicky vytváří na rozpadech bezkarbonátových hornin a je výrazně skeletovitá. Do povodí Křížového potoka zasahuje jen menším výběžkem na severozápadě. Ranker se nalézá na nevelké ploše na jihovýchodní rozvodnici povodí. Podobně jako litozem se vytváří na rozpadech hornin. Nejrozšířenějším půdním typem v povodí Křížového potoka je podzol, který tvoří přes 75 % plochy povodí a je zde zastoupen v podobě subtypu modálního a rankerového (PODRÁZSKÝ a kol., 2006). Tento půdní typ je typický pro horská povodí, vytváří se na zvětralinách či přemístěných svahovinách. Kryptopodzol pokrývá malé území na dolním toku Křížového potoka, kde vytváří podklad buk-smrkovým lesům. Posledním zastoupeným půdním typem je glej, rozprostírající se podél celého toku a místy stoupající do pravého svahu. Vytváří se zde na deluviofluviálních uloženinách. Jeho vývoj je ovlivněn přítomností podzemní vody.

Lze shrnout, že nejdůležitějším půdotvorným procesem na povodí Křížového potoka je proces podzolizace (BOHÁČ, 1989).

Obr. č. 14 Půdní typy v povodí Křížového potoka



Zdroj: upraveno dle Půdní mapy ČR v měřítku 1:50 000

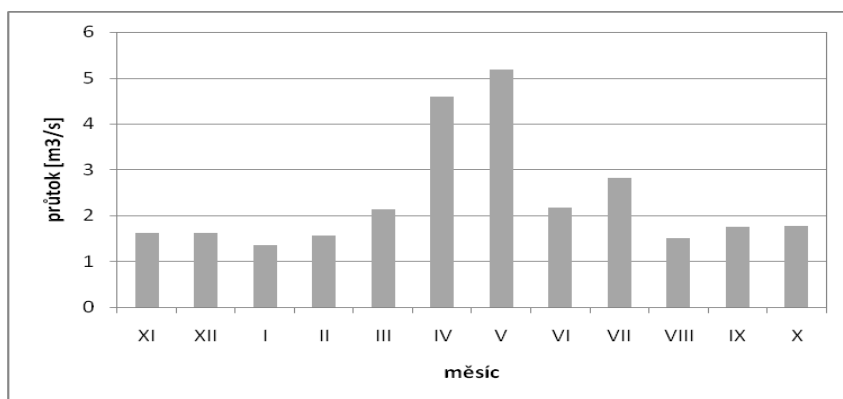
Hydrologie

Křížový potok je vodním tokem IV. řádu, nese hierarchické označení 1-01-02-007 (*Hydrologické poměry*, 1965). Jeho pramen se nachází v nadmořské výšce 1315 m n.m., není ale pramenem trvalým, jak se ukázalo během terénní práce. Vodu do toku dodávají také tři kratší přítoky - dva levostranné a jeden pravostranný. V době s dlouhodobě nižším úhrnem srážek však nejsou výrazné a může docházet i k jejich vysychání. Dalšími zdroji vody jsou potom tři pravostranné prameny nacházející se do 1 m od koryta.

Hydrologický režim toku odpovídá lokalitě – maximálních průtoků je dosahováno v době jarního tání sněhu, v měsících březnu až květnu.

Na Křížovém potoce není limnigraf, pro ilustraci je zde uveden graf znázorňující průměrné měsíční průtoky na řece Úpě v Horním Maršově, která se vyznačuje odtokovým režimem stejného typu.

Graf č.1 Průměrné měsíční průtoky na Úpě v Horním Maršově v letech 1951-1960



Zdroj: Hydrologické poměry, 1967

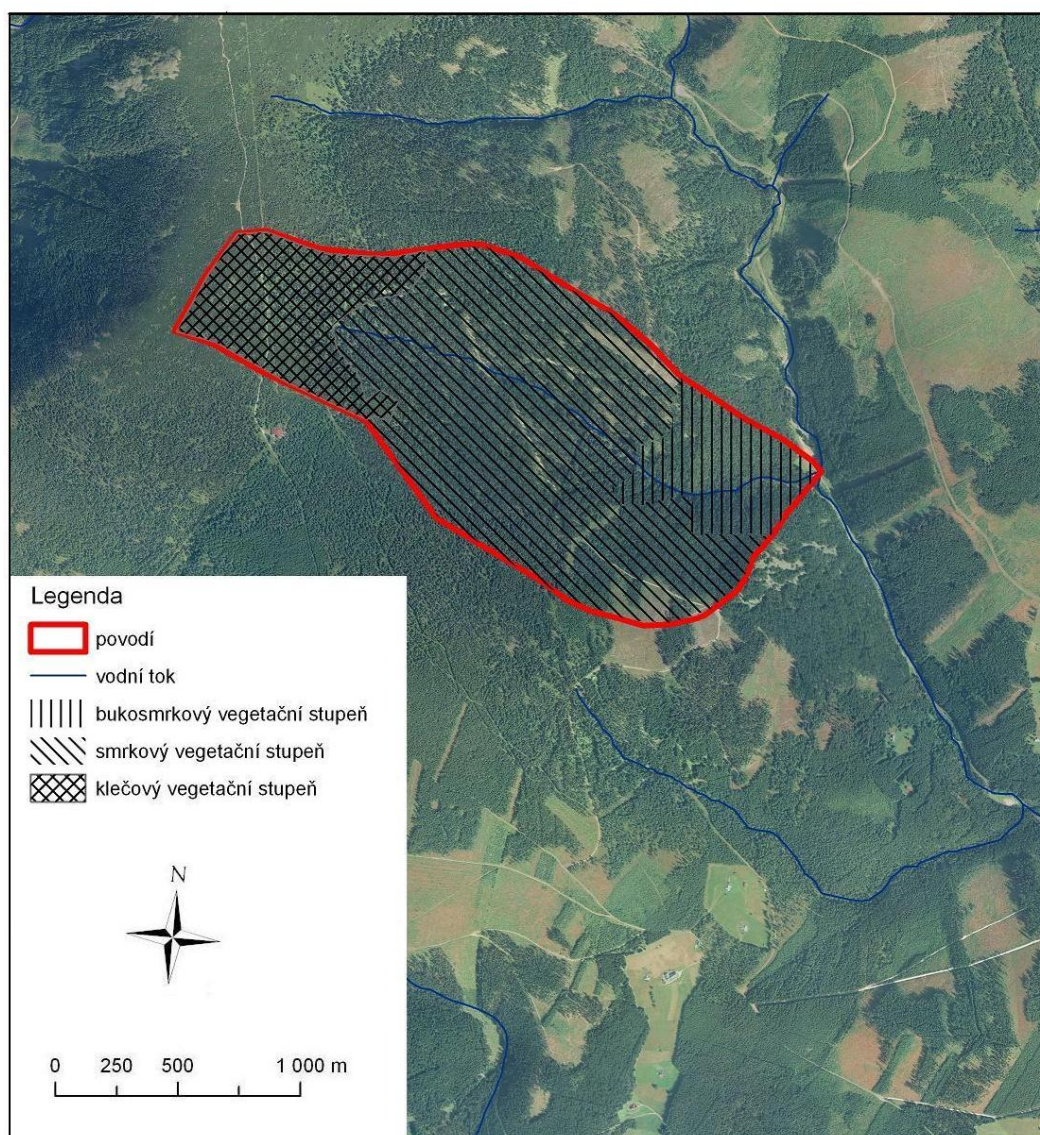
Podnebí

Povodí Křížového potoka náleží do chladné oblasti CH6. Průměrné lednové teploty se zde pohybují mezi -4 až -5 °C, červencové dosahují 14 až 15 °C. Srážkové úhrny ve vegetačním období odpovídají 600 – 700 mm, v zimním období je to asi 400 - 500 mm. Průměrný počet dnů se sněhem se pohybuje mezi 120 a 140 dny v roce (*Krkonoše: příroda, historie, život*, 2007). Významným jevem jsou krátkodobé letní přivalové deště a bouřky, které způsobují výrazné zvýšení hladiny a zvýšení rychlosti toku, což následně může způsobovat rozvodnění toku.

Vegetace

Povodí Křížového potoka je z velké části zalesněné, přičemž je možné rozlišit tři výškové vegetační stupně. Při dolním toku a ústí Křížového potoka je to buk-smrkový vegetační stupeň (do asi 1025 m n.m.). Ten se směrem na západ s rostoucí nadmořskou výškou mění na stupeň smrkový (asi 1025–1315 m n.m.) a konečně v nejvyšších partiích povodí na západě pokračuje vegetační stupeň klečový (nad 1315 m n.m.).

Obr. č. 15 Letecký pohled na povodí Křížového potoka s vyznačením vegetačních stupňů



Zdroj: CENIA, KRNP

5. STRUKTURA KORYTA KŘÍŽOVÉHO POTOKA

Textová část této kapitoly je doplněna o 33 číslovaných úseků, na které byl z důvodu lepšího grafického zpracování rozdělen plán. Sled je následující: úsek plánu – text – fotografie. V závorkách umístěných v textu je uvedeno číslo obrázku, který se k danému komentáři vztahuje. Podobně jsou označeny i místa na plánu. V lomítkách jsou uvedena označení jednotlivých intervalů velikosti částic, která jsou vysvětlena v legendě. V plánu je vyznačena vzdálenost v m, měřená od začátku vytváření koryta. Kurzívou je psána přibližná nadmořská výška začátků a konců úseků. Lokalizace úseků na vodním toku je zobrazena v příloze č. 2. Autorem všech fotografií uvedených v této kapitole je autorka práce.

Legenda

jemný a střední štěrček (menší než 5 cm)

hrubý štěrček (5 - 10 cm)

valouny (11 - 50 cm)

balvany (51 - 100 cm)

bloky (více než 101 cm)

skalní výchoz

vodní tok

obrys korytové formy

pramen

směr toku

hloubka méně než 10 cm

hloubka 11 - 30 cm

hloubka 31 - 50 cm

hloubka 51 - 100 cm

hloubka více než 101 cm

břehy

boční eroze

akumulace

podmletí břehů

stromy

zatravnění

dřevní úlomky, větve

přirozené spadlé kmeny nezasahující do koryta

přirozené spadlé kmeny zasahující do koryta

pokácené kmeny nezasahující do koryta

pokácené kmeny zasahující do koryta

cesta

pěšina



Koryto Křížového potoka se začíná vytvářet v nadmořské výšce přibližně 1313 m n.m. (16), asi 12 metrů od pramene. Je zde tvořeno materiálem o různé velikosti, od jemnozrnného štěrku /I/ až po valouny s průměrem do 50 cm /III/. Vzhledem k výraznému zatravnění a přítomnosti keřů uvnitř koryta lze předpokládat, že původní pramen není trvalý a vodní tok je napájen i z jiné zdrojnice. Tento první úsek byl tedy v době výzkumu bez vody. Šířka koryta zde nepřesahuje 100 cm, někde klesá i pod 50 cm. Asi na třicátém metru je patrný náznak tvorby systému stupeň-tůň (17), kdy jsou v korytě akumulovány větší klasty tvořící stupeň, za kterým následuje malá plocha tvořená jemnozrnným materiálem. Jinak však v korytě převládá neuspořádané umístění valounů.

Údolí je již od počátku toku ve tvaru písmene „V“, v tomto úseku však silně otevřeného (18). Přilehlé svahy mající sklon do 25° nejsou příliš strmé a není na nich patrný pohyb suťového materiálu. Místy na nich leží popadané kmeny, které mohou zásobovat koryto dřevními úlomky a větvemi.

Obr. č. 16 Začátek koryta

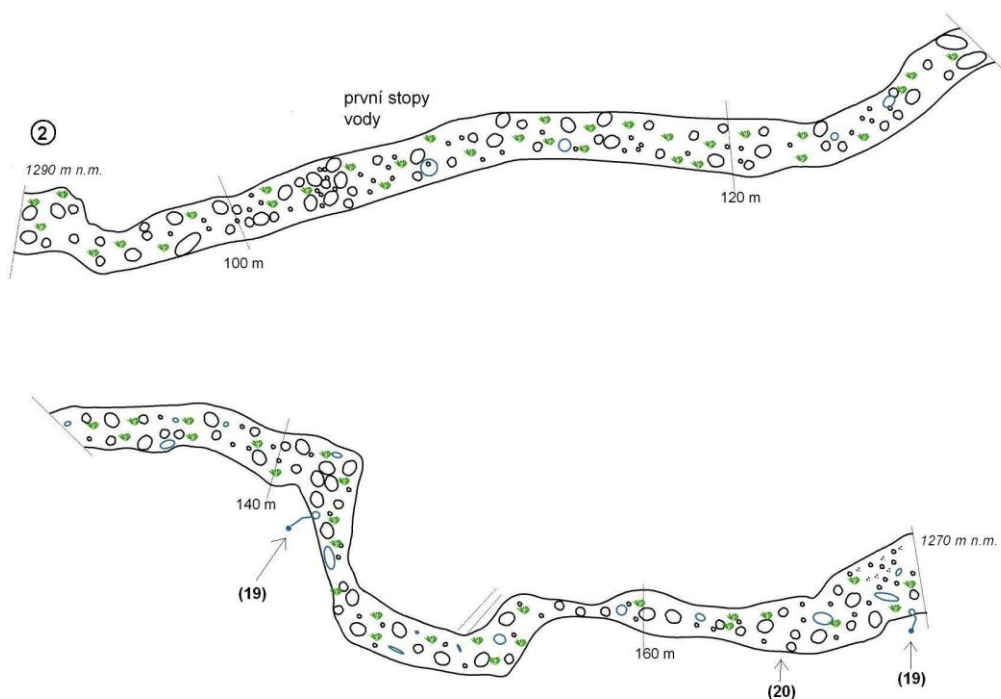


Obr. č. 17 Náznak formy stupeň-tůň



Obr. č. 18 Údolí tvaru „V“





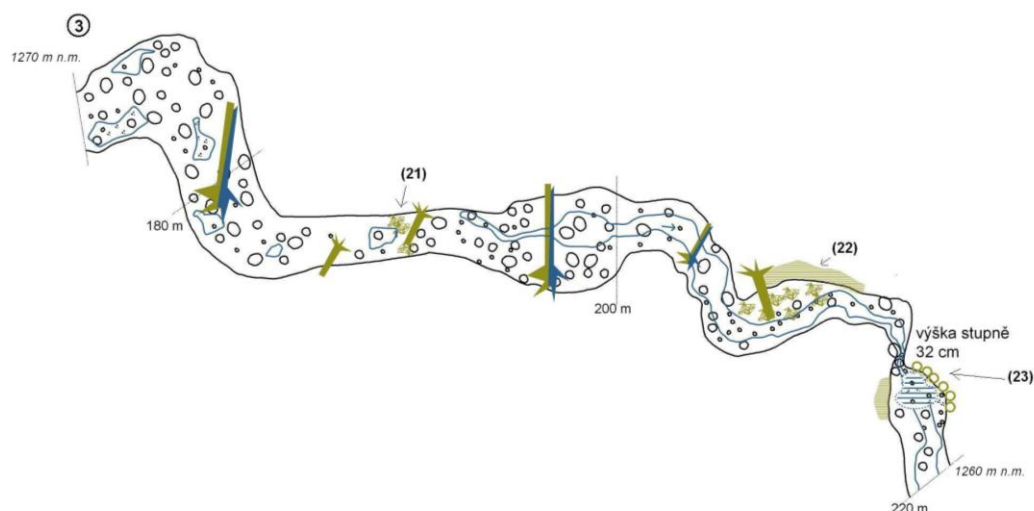
Přibližně po 105 metrech se v korytě začínají objevovat první stopy vody zachycené většinou v blízkosti valounů a balvanů. Koryto se také mírně rozšiřuje, začínají se z něj vytrácet traviny a zvyšuje se obsah valounů. Místy je patrné podemletí břehů, ke kterému dochází v době zvýšených vodních stavů. Přibližně po 140 a 170 metrech od začátku koryta se objevují dvě pravostranné zdrojnice – prameny (19), nacházející se do 50 cm od koryta. Materiál tvořící koryto v tomto úseku je značně nevytříděný (20), jsou zde neuspořádaně rozmístěné všechny zrnitostní frakce od jemného štěrku /I/ až po balvany s průměrem větším než 100 cm /V/, které však netvoří dominantní složku.

Obr. č. 19 Dva pravostranné prameny



Obr. č. 20 Různé velikosti klastů





Koryto je souvisle zaplněno vodou přibližně od 190. metru. Objevuje se také více přirozené spadlých kmenů (21) a větví tvořících v řečišti překážky, které vytvářejí podmínky pro častou změnu směru proudnice (22). Někdy tyto kmeny nezasahují přímo do koryta, ale mohou je přemostit. Nepředstavují tak bariéru, ale pouze zdroj dřevního materiálu. Na některých místech (210. metr) v oblastech s akumulovanými dřevními úlomky a větvemi je zřetelné mírné podemletí břehů do výšky max 10 cm, což značí, že v době vyšších průtoků jsou i tato místa pod vodou. Vzhledem k zavodnění koryta z něj mizí zatravnění a na 215. metru se objevuje první sekvence stupeň-tůň (23), u které však není tak markantní rozdíl ve velikosti materiálu, jež ji tvoří. Šířka koryta v tomto úseku dosti kolísá, od méně než 50 cm až po 3 m.

Obr. č. 21 Kmeny v korytě

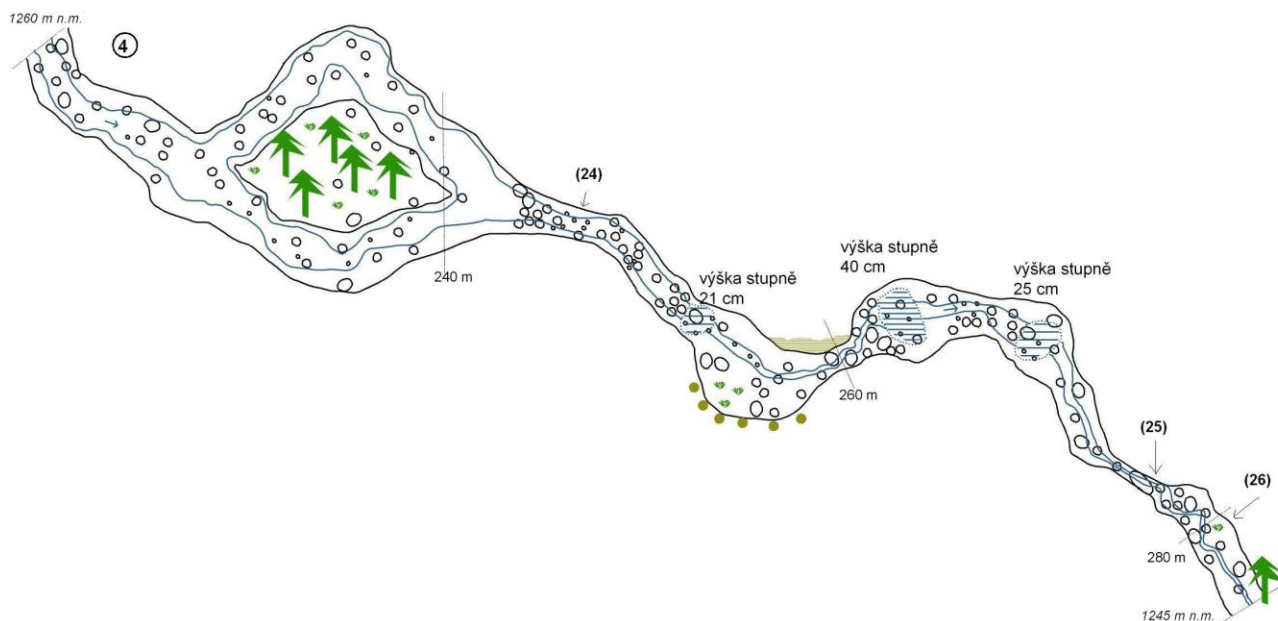


Obr. č. 22 Překážka z dřevních úlomků a větví



Obr. č. 23 Stupeň-tůň





Šířka koryta značně kolísá, na 238. metru přesahuje 8 m. Je to dáno přítomností ostrova, který pravděpodobně vznikl díky výchozu odolnějších poloh svorů, jenž člení tok na dvě části. Ostrov tedy nelze považovat za středokorytovou akumulaci, přestože se na něm akumulovaný materiál také nachází. Na ostrově se vytvořil půdní substrát a je zde i vegetační pokryv. V tomto úseku jsou zastoupeny zrnitostní frakce I – IV (24), výjimkou je pouze oblast pravostranné akumulace na 255. metru, kde chybí jemnozrnný materiál /I, II/. Přilehlé svahy mají již sklon přibližně větší než 30° a místy jsou patrné pohyby svahových sedimentů. Sekvence stupeň-tůň se stávají častějšími (úsek mezi 255. – 265. metrem), jejich vzájemná vzdálenost odpovídá pěti- až šestinásobku šířky koryta. Výšky stupňů nepřesahují 40 cm. Jinak je koryto výrazně kamenité, vykazuje neuspořádaně rozmístěný nevytříděný materiál /II, III, IV/ tvořící samostatné stupně a kaskády (25, 26). Od asi 250. metru nevyplňuje vzhledem k nízké výšce hladiny vodní tok koryto v celé jeho šířce a je tak odkryta většina dna. Valouny a balvany jsou místy po celé své ploše porostlé mechem, z čehož vyplývá, že k zaplnění celého koryta vodním tokem nedochází příliš často.

Obr. č. 24 Balvanité řečiště

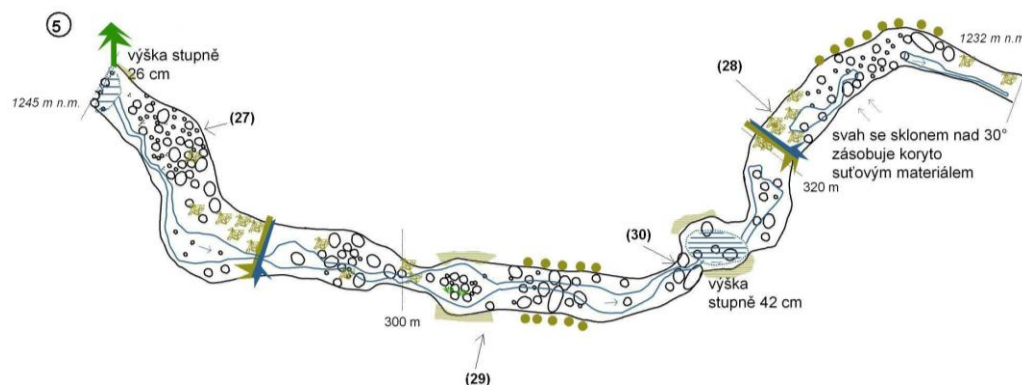


Obr. č. 25 Kaskádový systém



Obr. č. 26 Balvanité řečiště





Na 285. metru je drobnější sekvence stupeň-tůň. Na ni po levé straně navazuje rozsáhlá akumulace tvořená především jemnozrnnějším materiálem /I, II, III/ (27), v jejíž místě se proud vodního toku zužuje až na 10cm. Vzhledem k strmému přilehlému svahu je pravděpodobné, že materiál pochází právě z něj. V tomto úseku se v korytě ve větší míře uplatňují kmeny stromů, které spolu s hrubším balvanitým materiálem vytvářejí stupně. V místech nižšího spádu na 302. metru se vytvořila středokorytová akumulace valounů, která je místně zpevněná kořeny travních drnů (29). Vzhledem k výraznému podemletí obou břehů, které akumulaci obklopují, se dá předpokládat, že se jedná o akumulaci stabilní, která nepodléhá odnosu materiálu ani při vysokých průtocích. Další sekvence stupeň-tůň s typickou stavbou se vytvořila na 315. metru. Valouny či balvany tvoří stupně a jemnější materiál /II/ vyplňuje dno tůň (30).

Spadlý strom a jeho větve vytvářejí na 320. metru bariéru v korytě a spolu s akumulací suťového materiálu z velmi prudkého levého svahu (28) zabraňují vodnímu toku v proudění. Vzniká tak asi 15 m dlouhá oblast bez přítomnosti tekoucí vody.

Obr. č. 27 Akumulace uvnitř koryta



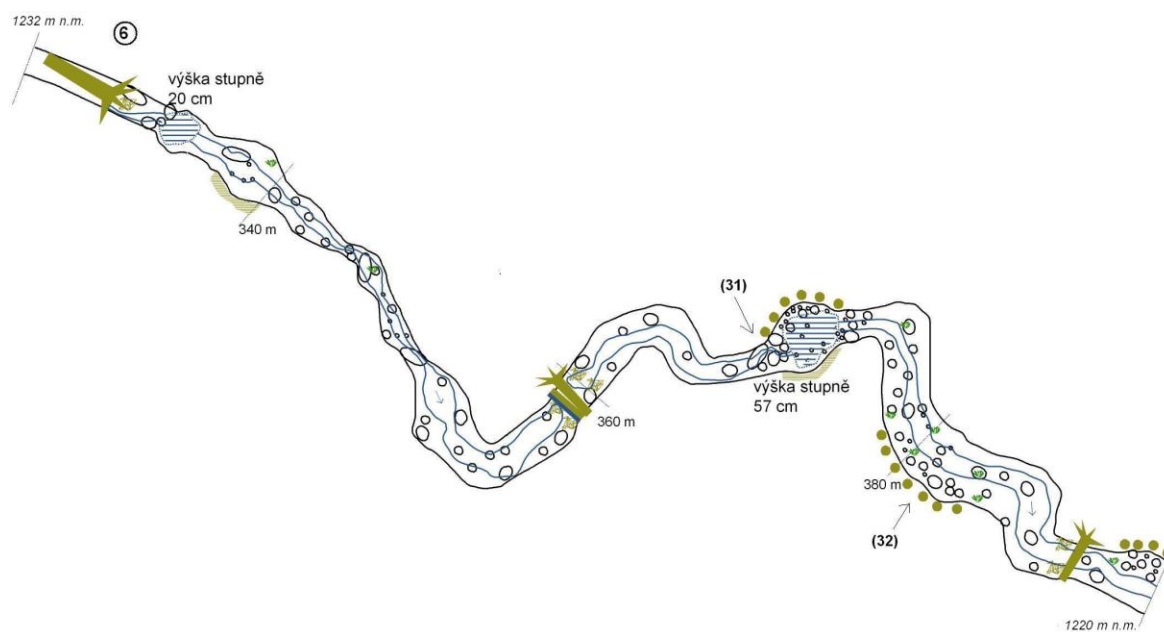
Obr. č. 28 Prudký svah s transportem suti a mur



Obr. č. 29 Středokorytová akumulace



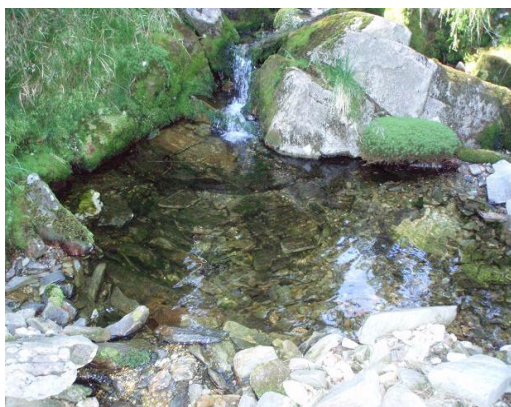
Obr. č. 30 Sekvence stupeň-tůň



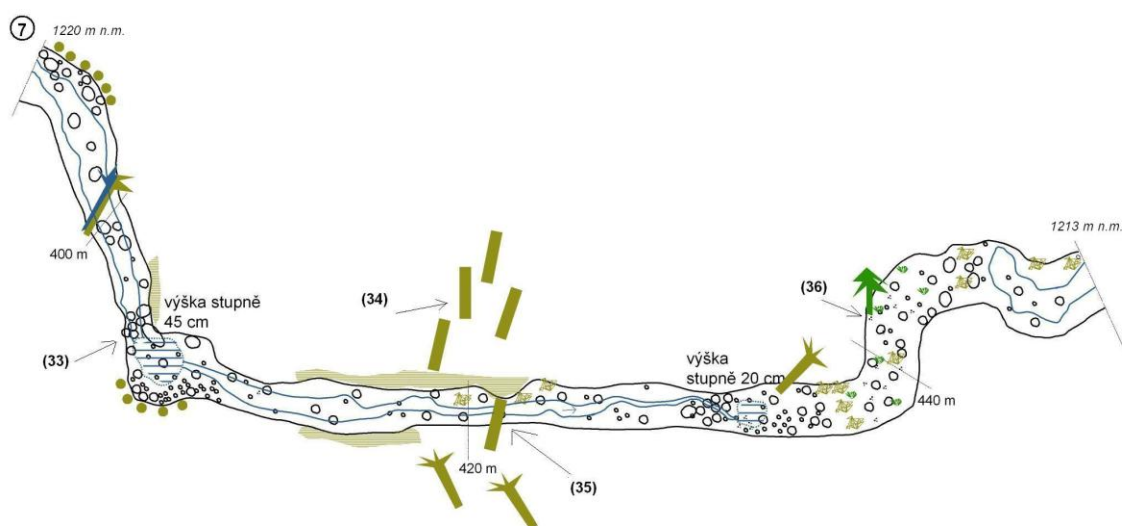
Po obnovení proudu na 335. metru následuje menší sekvence stupeň-tůň. Dále v korytě opět převažují neuspořádaně rozmístěné sedimenty různých velikostí /II-V/, přičemž dominuje větší velikost klastů /IV, V/. Na přibližně 340. metru lze na pravé straně vymezit asi 2 m dlouhý úsek s výraznými projevy boční eroze, která koryto místně rozšiřuje na 2 m, dále však šířka koryta klesá místy až na 50 cm. Vlivem kmene a větví,

které přehrazují tok, dochází na 360. metru opět ke krátkému (1 m) přerušení proudu. Asi na 370. metru vytváří balvan o průměru větším než 1 m spolu s menšími klasty přes 50 cm vysoký stupeň, za nímž následuje široká tůň tvořená jemnozrnnějším materiálem /I, II/ (31). Vzhledem k pravému přilehlému svahu se sklonem nad 30° (32) je koryto vyplněno suťovým materiálem, který vytváří bariéru, u které se hromadí i jemnozrnný materiál /II/ fluvialního původu. Hloubka výmolu u obou tůní v tomto úseku nepřesahuje 15 cm. Na 385. metru dochází k přemostění toku mohutným kmenem, který zásobuje koryto větvemi a dřevními úlomky. Následuje asi 5 m dlouhá akumulční oblast, tentokrát na levém břehu, opět podmíněná prudkým přilehlým svahem.

Obr. č. 31 Široká tůň



Obr. č. 32 Dřevní a zemní materiál z přilehlého svahu



Na 400. metru koryta je díky přítomnosti spadlého kmenu vytvořen asi 12 cm vysoký stupeň. Asi po 4 metrech následuje úsek s převládající boční erozí, která zde však nebyla tak výrazná, aby došlo k podemletí břehů. Přímou na tento erozní úseku navazuje na 405. metru sekvence stupeň-tůň, která je zakončena výraznou akumulací hrubého štěrku až malých valounků /II, III/ po pravé straně (33). Stupeň je tvořen balvany, zatímco dno tůně typicky jemnozrnnou frakcí /II/. Přilehlé svahy jsou hojně pokryty pokácenými i popadanými kmeny (35), které zasahují i do koryta (34). To je v těchto místech charakteristické relativně dlouhými úseky s převládající boční erozí. Na 430. metru se vytvořila další sekvence stupeň-tůň, která patří k těm menším (výška stupně nepřesahuje 20 cm). V této tůni proud vodního toku končí a mezi 435. a 445. metrem vzniká delší úsek sucha tvořený dřevními úlomky, větvemi a nevytříděným materiálem různých frakcí /I-IV/. Jisté však je, že v době vyšších vodních stavů jsou i tato místa zaplavována, což dokládají až 30 cm vysoké erozní projevy v břehových částech koryta (36). Na 445. metru se opět vytváří souvislý vodní proud.

Obr. č. 33 Sekvence stupeň-tůň



Obr. č. 34 Větvě zasahující do koryta

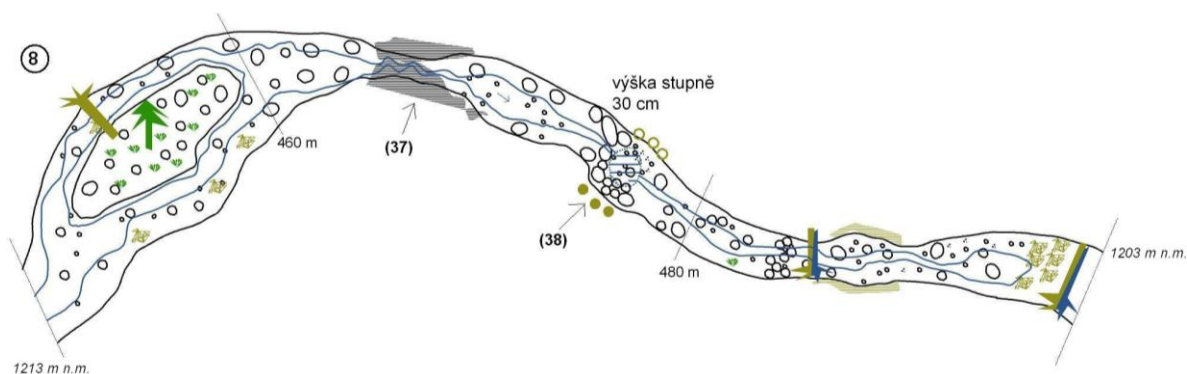


Obr. č. 35 Dřevinný materiál na svazích



Obr. č. 36 Důsledky eroze

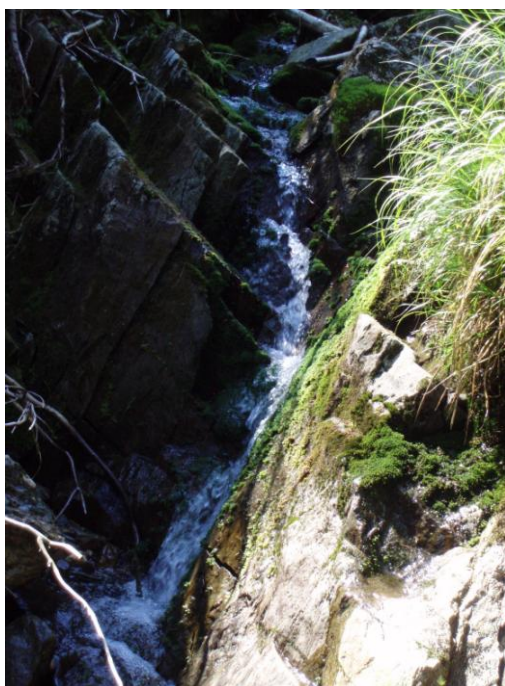




Přibližně na 450. metru koryta se vodní tok rozděluje kolem ostrova budovaného z odolnějších poloh horniny, který je pokrytý suťovým materiálem a vegetací. Šířka koryta zde stoupá na 5 m. V pravém rameni toku se nacházejí dřevinné úlomky a větve, které však v tomto případě nevytváří významné bariéry.

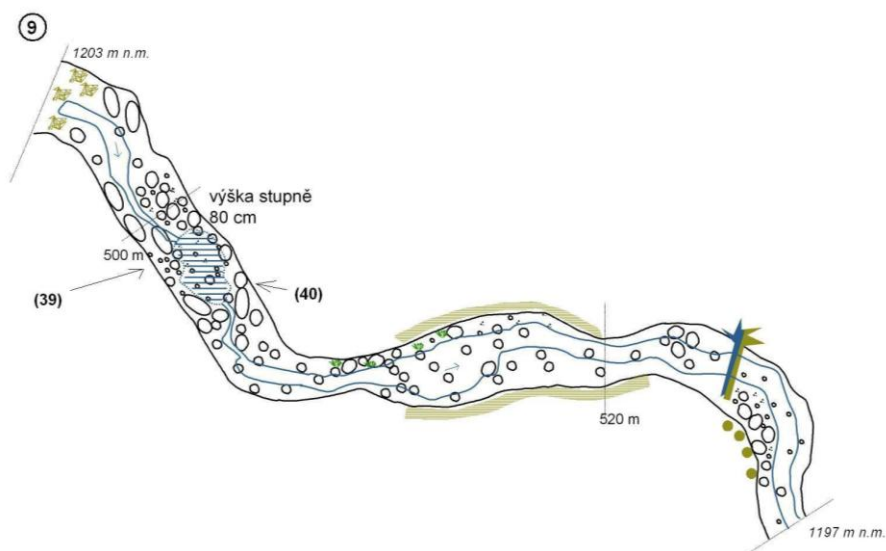
Na 465. metru koryto poprvé mění svůj charakter z aluviálního na skalní. Jedná se o skalní výchoz svorů s typickou puklinatostí a břídlíčnatostí, které tvoří podklad pro v tomto korytě jedinečnou strukturu – více než 150 cm vysoký skalní přepad s prudkým sklonem (37). Koryto je v tomto místě omezeno skalními stěnami. Asi po 5 metrech se opět vrací k aluviálnímu charakteru, což dokazuje i sekvence stupeň-tůň na 475. metru (38). Po dalších 5 m leží napříč korytem menší kmen, který působí jako překážka transportu materiálu /III/, a ten se tak hromadí před ním. Přibližně na 492. metru je vlivem rozsáhlých akumulací dřevních úlomků a větví přerušen na 4 m proud toku.

Obr. č. 37 Skalní charakter koryta



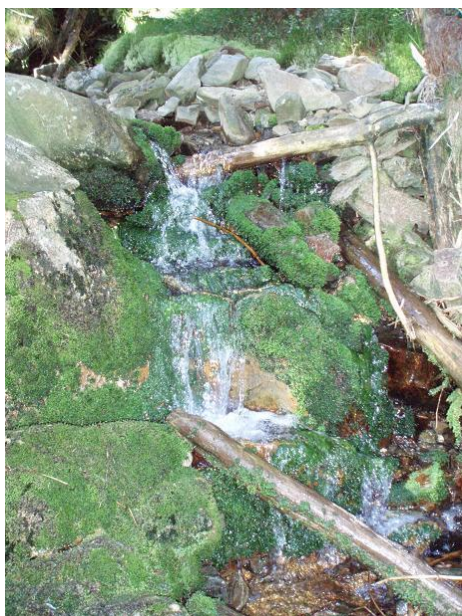
Obr. č. 38 Sekvence stupeň-tůň



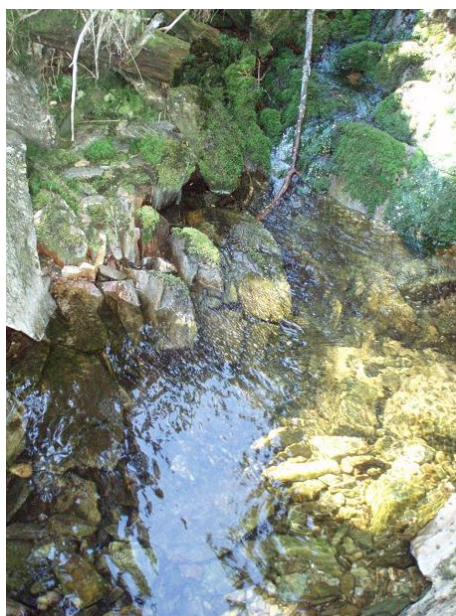


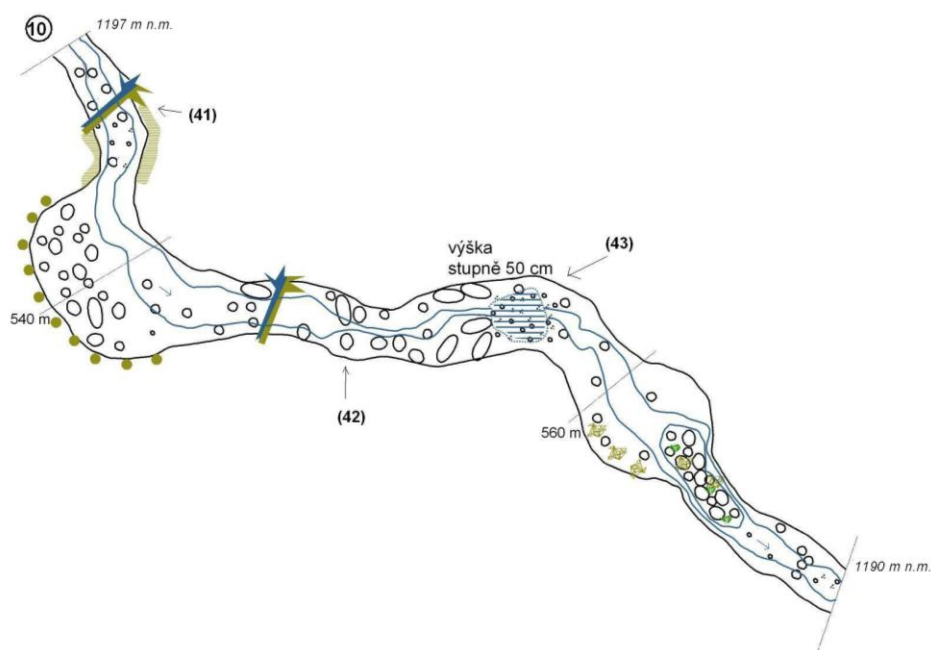
Od 500. metru se výrazně zvyšuje množství nepravidelně rozmístěných klastů v korytě, především těch hrubších (IV, V) a formuje se tak vyšší stupeň (80 cm) (39). Na něj navazuje asi 3 m dlouhá tůň s hloubkou do 30 cm, ze které vytéká jen slabý proud (40). Přibližně od 510. metru se množství klastů snižuje a i vodní tok zaplňuje větší šíři koryta. Spolu s vodním tokem se zvětšuje i šířka koryta, která dosahuje až ke 3 m. Toto rozšíření je dáno účinky boční eroze, která působí na obou březích v délce asi 6 m. Na 525. metru přehrazuje koryto menší kmen. Následuje asi 3 m dlouhá pravostranná akumulace suťového materiálu, tvořena především valouny až balvany /III, IV/.

Obr. č. 39 Balvanitý stupeň



Obr. č. 40 Zakončení tůně





Další kmen tvořící nízký (do 15 cm) stupeň v korytě se nachází na 535. metru (41). Hned za ním následuje na obou březích asi 2 m dlouhý úsek s účinky boční eroze. Přibližně od 537. metru se koryto výrazně rozšiřuje až na více než 3 m. Je to z důvodu rozsáhlé pravostranné akumulace tvořené hrubšími klasty /IV, V/, jejíž délka dosahuje více než 5 m. Na 545. metru šířka klesá pod 2 m a koryto je přehrazeno padlým kmenem. Od 550. metru se začíná zvyšovat množství klastů /IV, V/ v řečišti a značně kolísá šířka toku (15 cm až 1 m) (42). Na 555. metru se vytvořila typická sekvence stupeň-tůň s balvanitým stupněm a jemnozrnějším /I, II/ dnem tůň (43). Následuje úsek, kdy se koryto rozšiřuje vlivem akumulace větví a dřevních úlomků na téměř 4 m. Za tímto rozšířením se vodní tok rozděluje a obtéká dvěma rameny asi 4 m dlouhou středokorytovou akumulací větších klastů /IV/, které jsou místně zatravněné.

Obr. č. 41 Stupeň z kmene

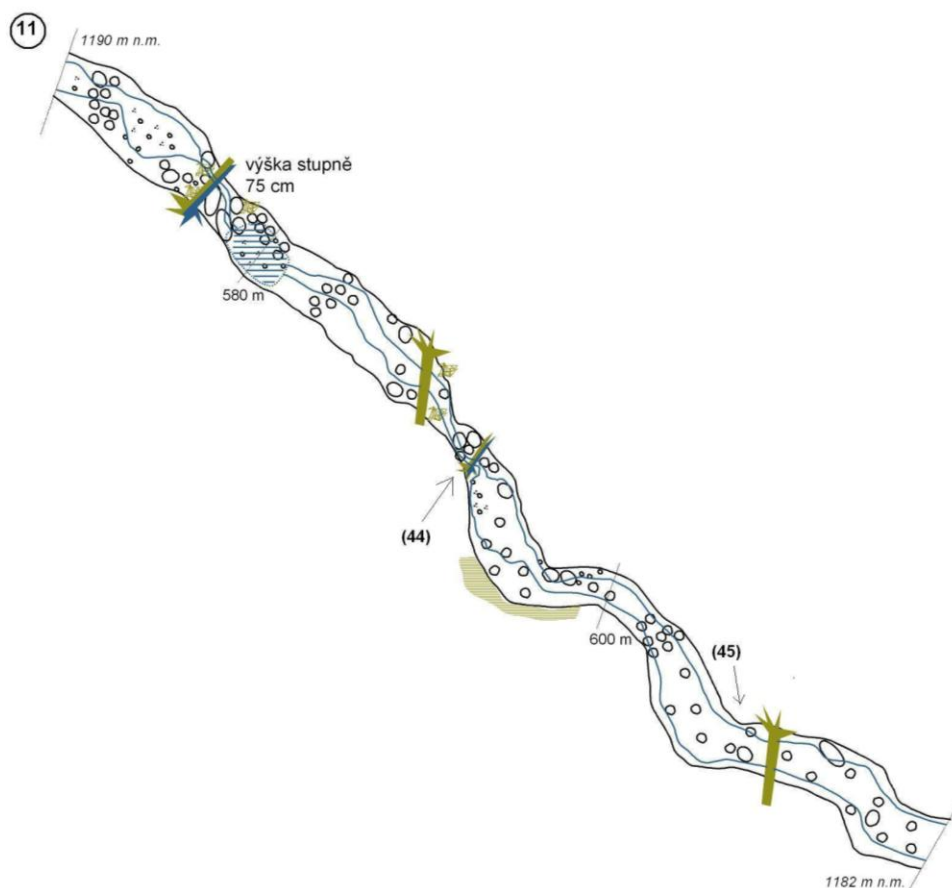


Obr. č. 42 Kolísání šířky vodního toku



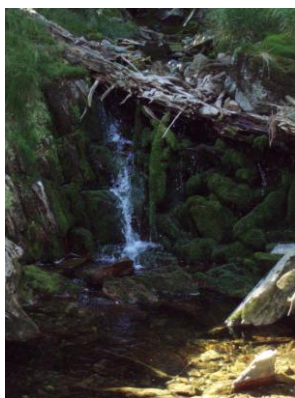
Obr. č. 43 Jemnozrné dno tůň





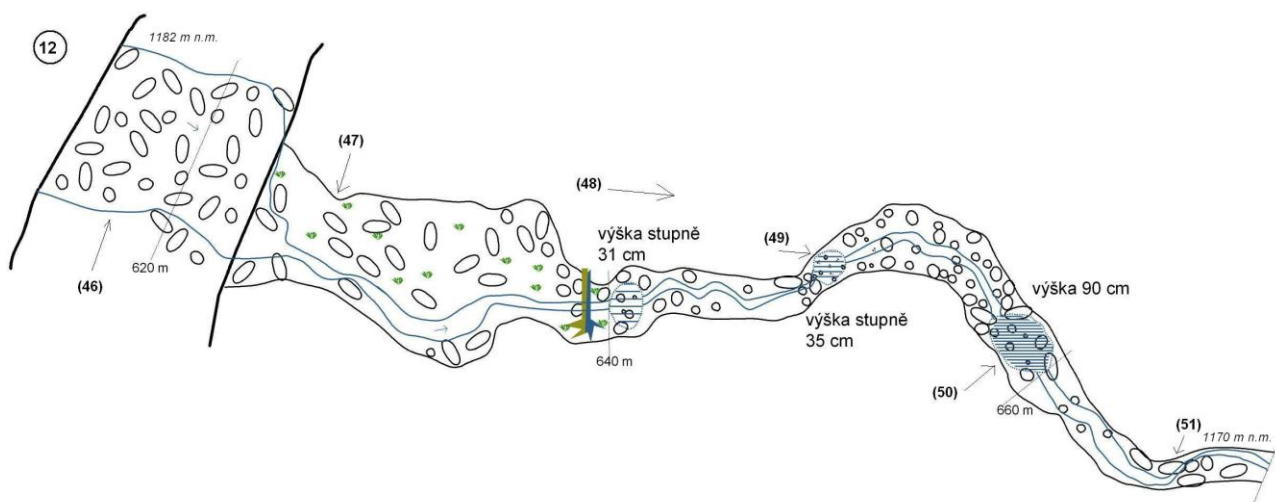
Na přibližně 578. metru koryta se vytvořil 75 cm vysoký stupeň z balvanů, na jehož vrchu leží padlý kmen. Dno následující tůně je tvořeno jemnozrnnějším materiálem /II/, který se kumuluje především po levé straně tůně. Asi 2 m za tůň tvoří příčná valounová akumulace mírný stupeň, za kterým však nenásleduje tůň. Na 590. metru se z valounů a kmene vytvořil výrazný, asi 60 cm vysoký stupeň (44). Značně rozložený kmen na jeho vrchu brání transportu materiálu, a ten se před ním hromadí. Přibližně od 600. metru zaplňuje vodní tok koryto v celé jeho šíři (45) a s výjimkou jednoho balvanitého stupně lze po následujících 20 m vymezit strukturu rovného dna.

Obr. č. 44 Výrazný stupeň



Obr. č. 45 Relativně rovné dno koryta





Přibližně na 620. metru přetíná vodní tok cesta, po které se voda volně rozlévá v pruhu až 5 m širokém (46). Říční koryto je zde přerušeno a výrazně ovlivněno antropogenní činností. Valouny a balvany zpevňují cestu a vzniká tak přes 5 m dlouhý plochý korytový úsek. Tyto balvany a bloky pokračují ještě asi 10 m po proudu a značně tak koryto rozšiřují (až na 5m) (47). Přibližně na 640. metru se objevuje sekvence stupeň tůň, za kterou asi po 8 a 16 m následují další dvě (48). Jejich vzájemný rozestup odpovídá pěti- až šestinásobku šířky v místě stupně. První dvě sekvence stupeň-tůň jsou spíše menších rozměrů a jejich dna jsou tvořena jemnozrnným materiálem /I, II/ (49), naopak třetí je tvořena stupněm vysokým 90 cm, vyznačuje se i vyšší hloubkou výmolu (nad 30 cm) a její dno je tvořeno i klasty větší velikosti /III/ (50). Množství a velikost klastů v korytě jsou v této části značně rozdílné – koryto v úseku mezi 650. a 660. metrem je prakticky celé vyplněno klasty o střední a větší velikosti /III, IV/, zatímco po 660. metru dominují bloky /V/, které tvoří kaskády (51).

Obr. č. 46 Cesta přetínající vodní tok



Obr. č. 47 Bloky a balvany rozšiřující koryto



Obr. č. 48 Úsek se sekvencemi stупeň-tůň



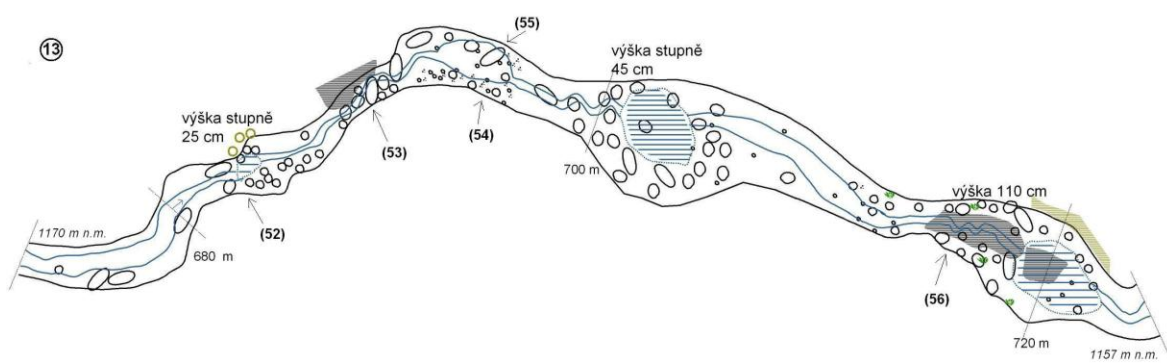
Obr. č. 49 Dno tůně tvořené jemnozrnným materiálem



Obr. č. 50 Dno tůně tvořené i většími klasty



Obr. č. 51 Kaskády na blocích



Na 685. metru je opět drobnější tůň s až 15 cm vysokým podemletím břehů (52). Po 5 m je patrný levostranný skalní výchoz, který spolu s balvany na pravé straně vytváří asi 50 cm vysokou kaskádu (53). V místě kaskády se koryto i proud toku výrazně zužují (pod 1m v případě koryta, pod 10 cm u proudu). V oblasti vyústění kaskády jsou zastoupeny klasty všech velikostí /I-V/ (54, 55). Na 700. metru tvoří balvany stůně o výšce 45 cm, na

který navazuje tůň s výraznými akumulacemi větších klastů po pravé straně. Na 715. metru se na skalním výchozu doplněném o valouny a balvany vytvořila asi 110 cm vysoká kaskáda se sklonem až 80° (56) ústící do méně než 30 cm hluboké tůně. Na levém břehu tůně jsou patrné účinky boční eroze, ke kterým dochází v době vyšších vodních stavů.

Obr. č. 52 Tůň s patrným podemletím břehu



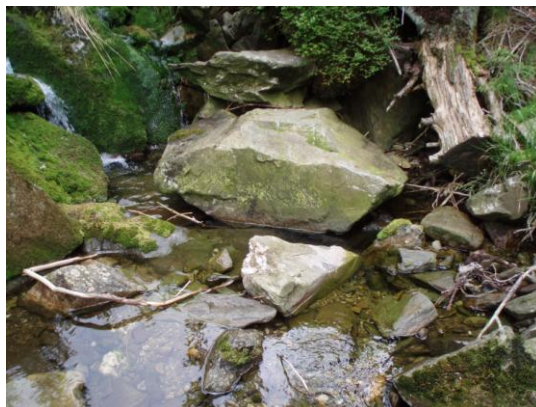
Obr. č. 53 Kaskáda



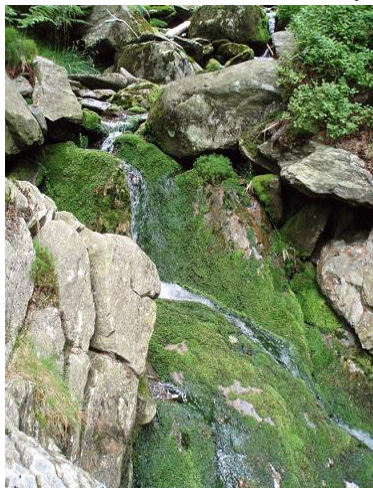
Obr. č. 54 Jemný až hrubý štěrk

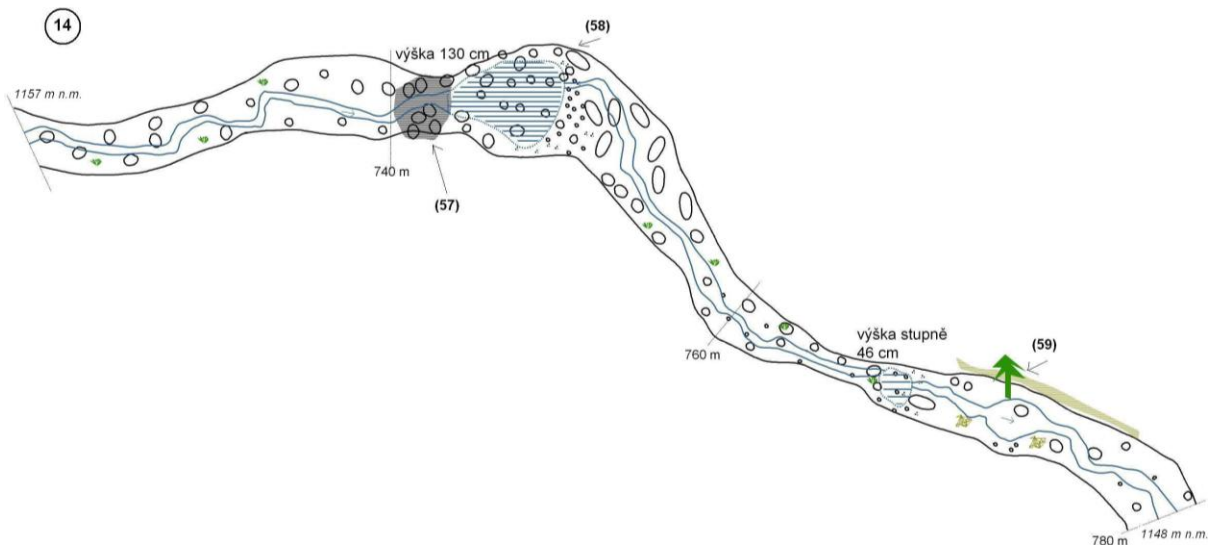


Obr. č. 55 Skalní blok



Obr. č. 56 Kaskáda na skalním výchozu





Od 725. metru je koryto tvořeno neuspořádaně rozmístěnými klasy větších velikostí /IV/. Proud toku je dosti úzký (20 cm), místy je dokonce patrné zatravnění. Na 740. metru se nachází menší skalní výchoz s výraznými skalními bloky, které tvoří asi 130 cm vysokou kaskádu (57), přičemž místy v ní voda proudí bez kontaktu s podložím. Vzhledem k tomu, že výška zmíněného úseku nepřesahuje 30 cm a jeho sklon je menší než 70°, nedá se tato struktura označit termínem vodopád. Kaskáda ústí do rozsáhlé tůně, na jejíž konci se hromadí jemný štěrk až valouny (58). Od 749. metru je koryto tvořeno spíše většími klasy /V/ a na vnějších okrajích koryta je místy patrné zatravnění. Na 765. metru se zformovala další sekvence stupeň-tůň s typickou stavbou – stupeň je tvořen většími klasy /IV/, kdežto dno tůně pokrývá jemnozrnný materiál /I, II/. Po 5 m jsou na pravém břehu vidět důsledky eroze, která svým intenzivním působením odhalila kořeny stromu (59).

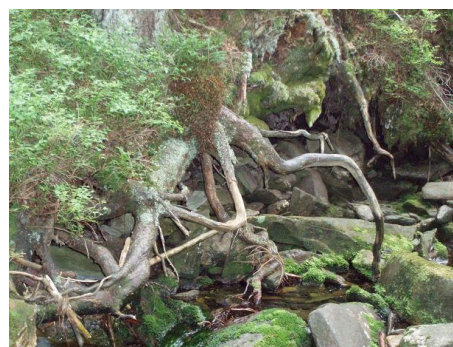
Obr. č. 57 Kaskáda

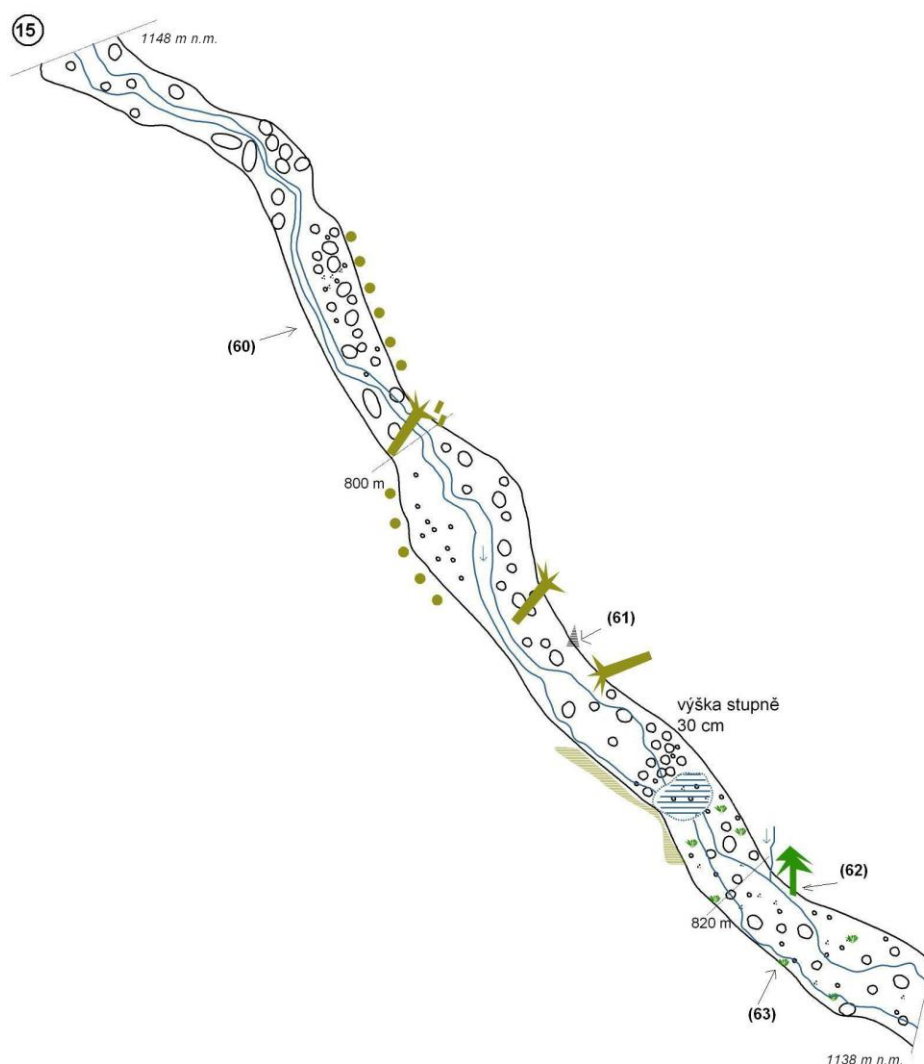


Obr. č. 58 Zakončení tůně



Obr. č. 59 Účinky eroze





V následujících 10 m koryto udržuje charakter nerovnoměrně rozmístěných větších klastů tvořících peřeje a malé kaskády. Přibližně na 795. metru se na levé straně koryta rozkládá až 5 m dlouhá valounová akumulace, pravděpodobně fluviálního původu (60). Na 800. metru je úzký tok (do 30 cm) přemostěn kmenem a hned za ním následuje pravostranná akumulace jemnozrnného materiálu /I, II/, také fluviálního původu. Na 810. metru je po levé straně výrazný skalní výchoz menšího rozměru, který zasahuje přímo do koryta (61). Po 5 m se z valounů vytvořil 30 cm vysoký stupeň, za kterým následuje řada menších rozměrů. Asi na 820. metru ústí do Křížového potoka jeden z jeho krátkých levostranných přítoků, který byl v době výzkumu téměř vyschlý. 2 m od něj je zřetelné, až 15 cm vysoké, podemletí levého břehu (62), ke kterému pravděpodobně došlo již před nějakou dobou, neboť valouny v korytě jsou místy silně zatravněné. Jinak je zde dno koryta tvořeno také jemným a hrubým štěrkem (63).

Obr. č. 60 Valounová akumulace



Obr. č. 61 Skalní výchoz

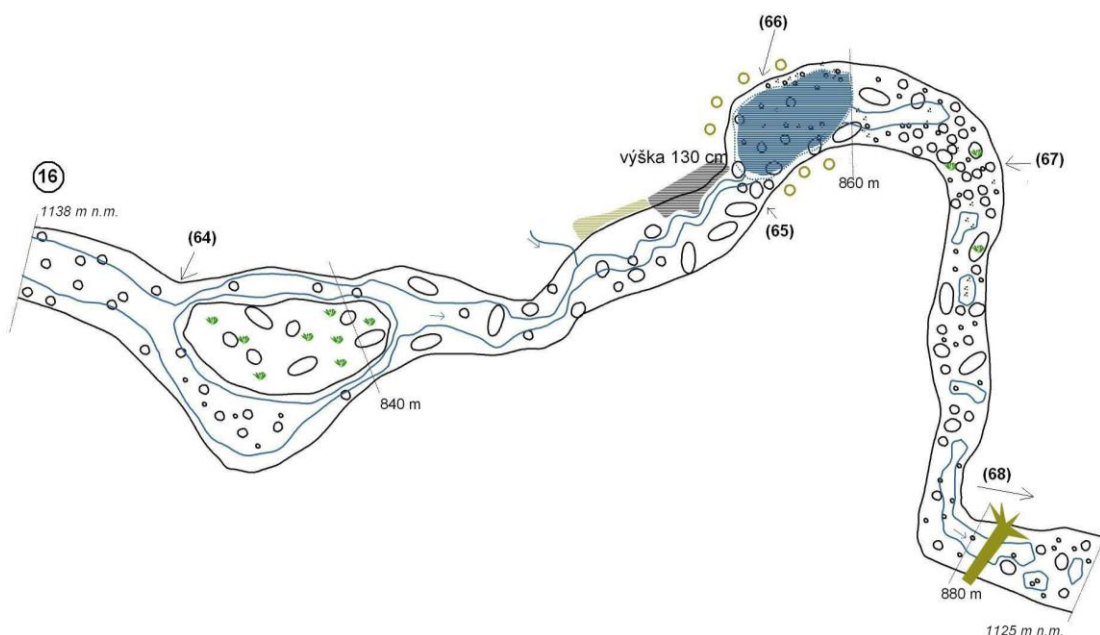


Obr. č. 62 Podemletí břehů



Obr. č. 63 Dno tvořené různými velikostmi klastů





Na 835. metru dochází k rozdělení toku kolem středokorytové akumulace balvanů a valounů s rozsáhlým zatravněním (64). Akumulace je dlouhá téměř 3 m a rozšiřuje koryto na více než 5 m. Obě ramena vodního toku obsahují větší množství středních klastů /III/. Přibližně na 850. metru se nachází druhý levostranný přítok, který opět nebyl v době průzkumu téměř patrný. Po 5 m se objevuje rozsáhlý skalní výchoz s prudkým sklonem (nad 50°), na kterém se vytvořila kaskáda dosahující výšky až 130 cm (65). Na ni následuje jedna z hlubších tůň Křížového potoka, její hloubka dosahuje až 60 cm. Tůň je velmi dobře ohraničená a na obou březích je patrné mírné podemletí břehů (do 10 cm) (66). Tok vytékající z tůně se na 865. metru ztrácí pod akumulacemi suťového materiálu různých velikostí /I-V/, které vyplňují celé koryto (67). Na povrchu se tok objevuje jen místy až do 895. metru, kde se opět spojuje v souvislý proud. Vodní tok vytváří v těchto místech stále údolí tvaru písmene „V“ (68).

Obr. č. 65 Kaskáda na skalním výchozu

Obr. č. 64 Středokorytová akumulace



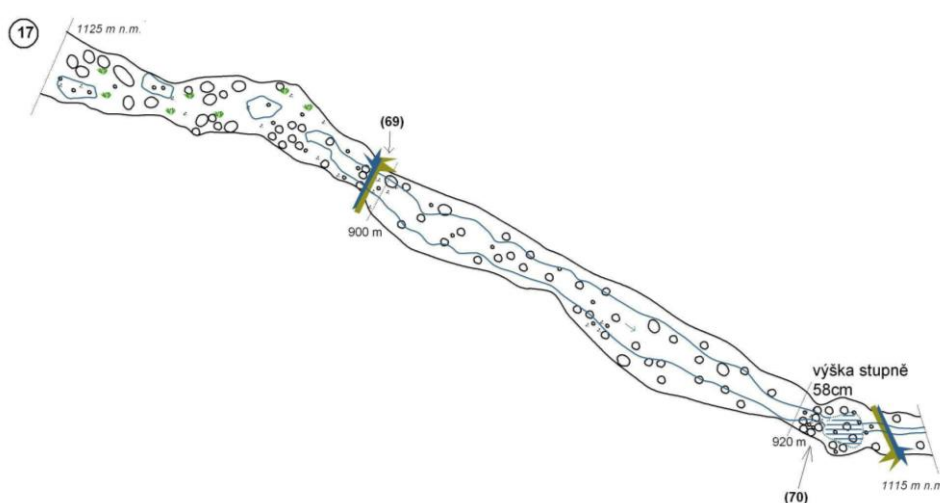
Obr. č. 66 Hluboká tůň



Obr. č. 67 Suťový materiál



Obr. č. 68 Údolí tvaru písmene „V“



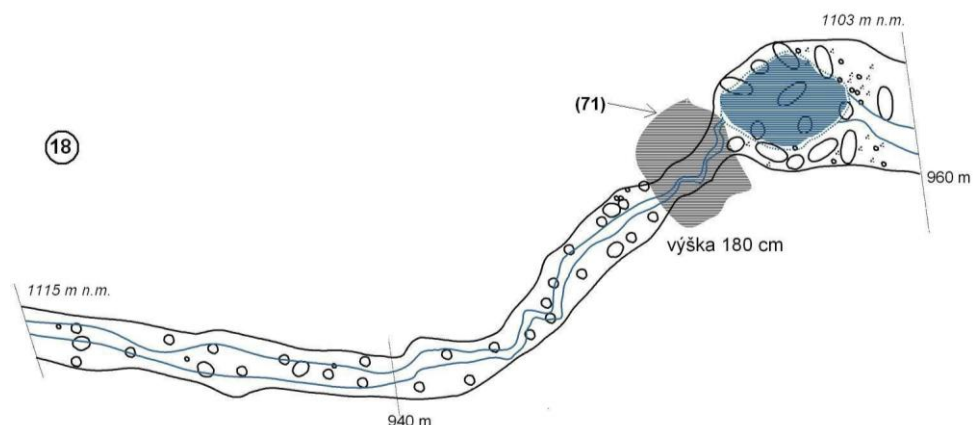
Na 900. metru přehrazuje koryto menší kmen, který vytváří stupeň. Kmen zároveň představuje i překážku a hromadí se před ním materiál různých velikostí /I-III/ (69). V následujícím asi 20 m dlouhém úseku teče vodní tok relativně rovným korytem bez dobře určitelných forem. Šířka koryta se pohybuje kolem 2,5 m a výrazně nekolísá. Na 920. metru se vytvořila sekvence stupeň-tůň (70). Stupeň i dno tůně se v tomto případě skládají z klastů shodné velikosti /III/. Před stupněm dochází k hromadění jemnozrnného materiálu /I, II/.

Obr. č. 69 Akumulace materiálu před dřevní bariérou



Obr. č. 70 Sekvence stupeň-tůň

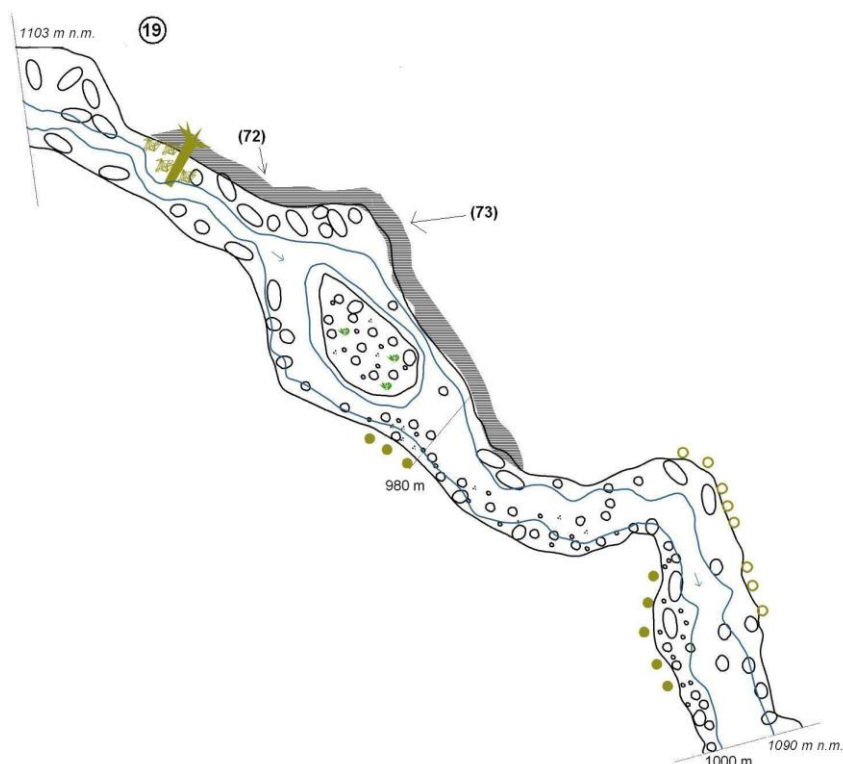




V úseku mezi přibližně 922. až 950. metrem se koryto opět vyznačuje absencí výrazných struktur. To se mění na 950. metru, kde se nachází rozsáhlý skalní výchoz svorů. Vzniklá kaskáda (71) patří k těm nejvyšším na Křížovém potoce, její výška dosahuje přibližně 180 cm a její sklon přesahuje 70° . Koryto má v tomto místě skalní charakter a je omezené údolními stěnami. V levé části fotografie je dobře patrný „řez“ a naklonění svorů. Kaskáda ústí do asi 60 cm hluboké tůně tvořené skalním masivem a skalními bloky. Na jejím konci je akumulován jemnozrnný materiál /II/, mizí omezení údolními stěnami, koryto získává opět aluviální charakter a rozšiřuje se na více než 3 m.

Obr. č. 71 180 cm vysoká kaskáda





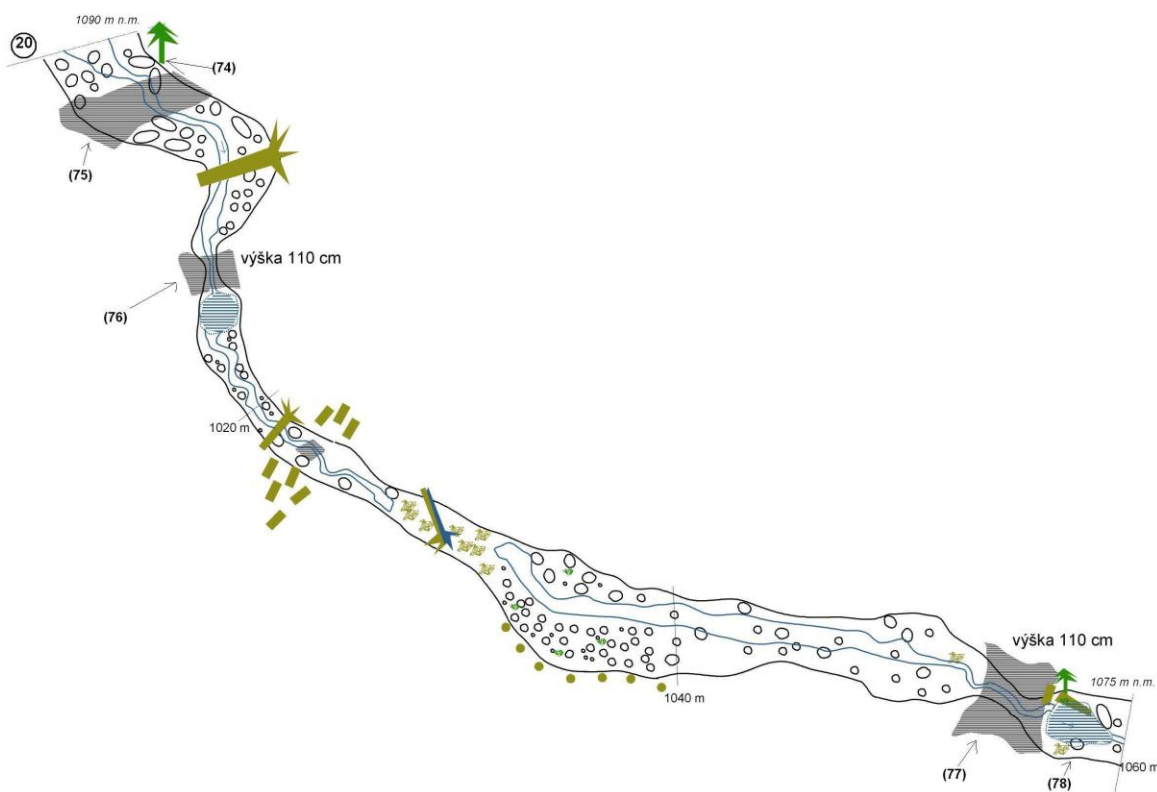
Na 970. metru koryta se na levé straně opět objevuje skalní výchoz (73) svorů s dobře viditelnou puklinatostí (72). Koryto je zde tvořeno skalními bloky, tvoří se malé kaskády. Na 975. metru dochází k rozdělení toku kolem ostrůvku ze suťových akumulací, který je místy zatravněn. Vodní tok kolem něj neproudí nijak rychle, v cestě mu často stojí akumulace dřevních úlomků a větví, nebo materiálu střední velikosti /III/, který se hromadí v délce 20 m podél pravého břehu. V levé části je naopak patrné mírné podemletí břehů (do 10 cm).

Obr. č. 72 Odlučnost svorů



Obr. č. 73 Skalní výchoz na levé straně koryta





Přibližně na 1000. m od začátku koryta jsou patrné účinky boční eroze (74), ke které však v současné době jistě nedochází, vzhledem k tomu, že koryto je zde výrazně zatravněno a dokonce se zde vyskytují malé semenáčky smrku. O 2 m dále je charakter koryta významně ovlivněn mohutným skalním výchozem svorů, na jejichž blocích se vytvořila kaskáda (75). Voda přes ni místy stéká až pod úhlem 80° bez kontaktu s podložím, ale vzhledem k malé výšce přepadu nelze hovořit o vodopádu. Dalších asi 6 m je koryto vyplněno skalními bloky a na 1015. metru je opět výrazný skalní výchoz svorů tvořících asi 110 cm vysokou kaskádu (76). Voda přes ni stéká bez kontaktu s podložím pod úhlem asi 70° . Koryto zde má až soutěskovitý charakter, je výrazně omezené údolními stěnami a jeho šířka nepřesahuje 50 cm. Dalších asi 20 m má koryto valounovité dno a větší spád, ale přibližně od 1020. metru spád mírně klesá a koryto se začíná zaplňovat také jemnozrnnějšími frakcemi /I, II/. Na asi 1025. metru do koryta zasahuje kmen a spolu s větvemi a dřevními úlomky vytváří mocnou vrstvu dřevního materiálu, která brání vodnímu toku v proudění a vzniká tak asi 4 m dlouhý úsek sucha. Asi o 5 m dále se po pravé straně vytvořila asi 8 m dlouhá akumulace menších klastů /I-III/. Následuje 15 m úsek s neuspořádaně rozmístěným nevytříděným materiálem /III, IV/. Na přibližně 1055. metru opět vystupují na povrch polohy svorů a výsledkem je kaskáda s výškou asi 110 m (77) nořící se do tůně asi 40 cm hluboké. Do tůně zasahuje i mohutný pokácený kmen, na kterém raší nové smrčky (78).

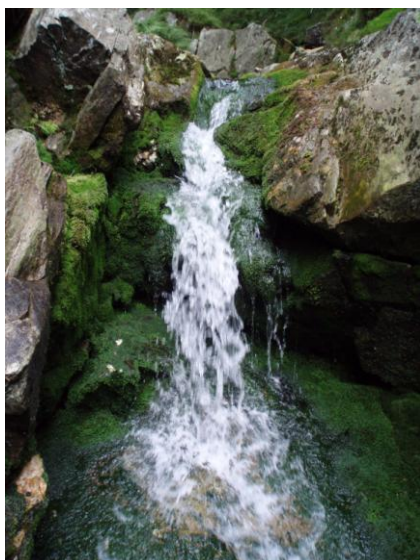
Obr. č. 74 Účinky boční eroze



Obr. č. 75 Kaskáda



Obr. č. 76 Kaskáda

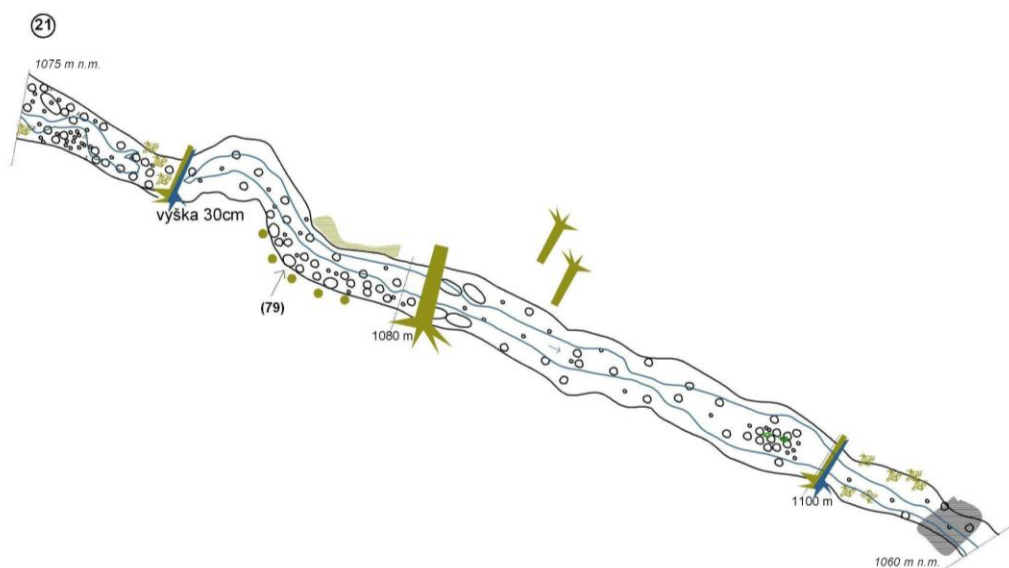


Obr. č. 77 Kaskáda



Obr. č. 78 Kmen zasahující do tůně

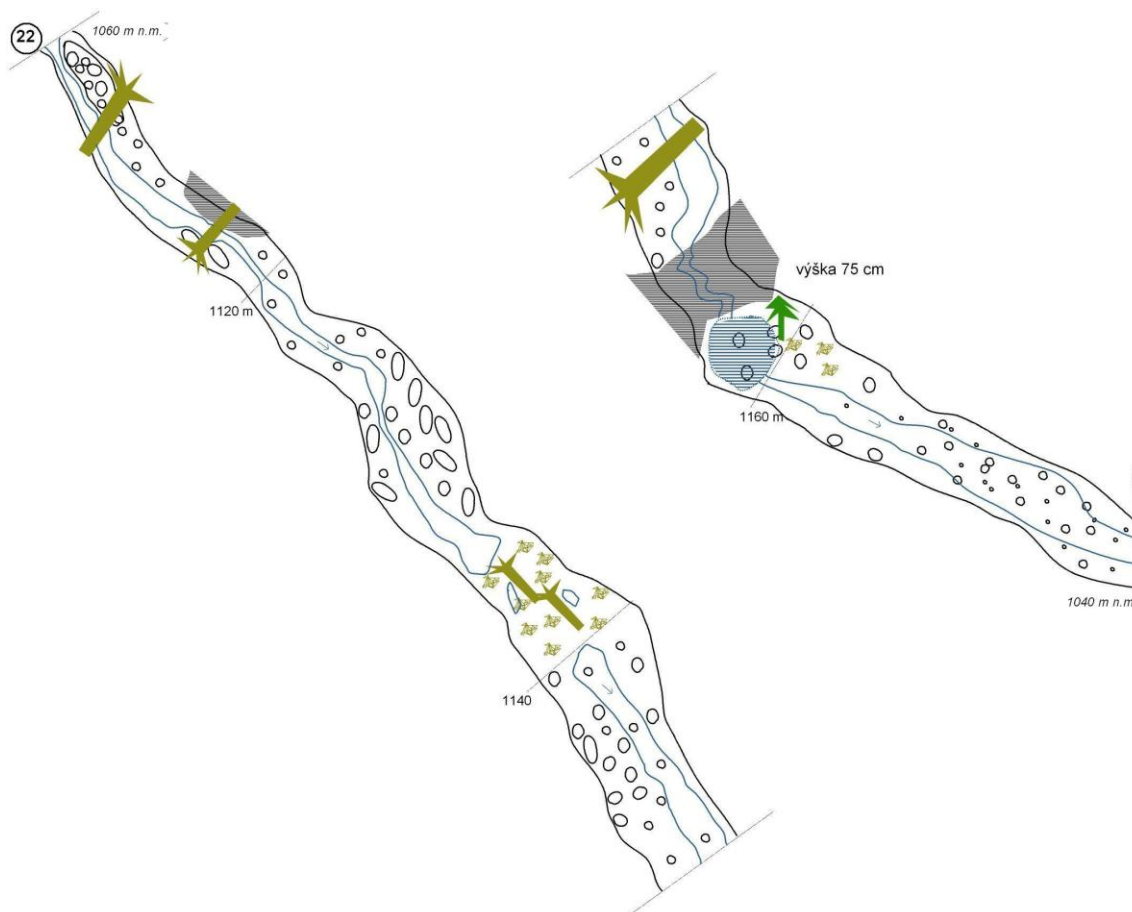




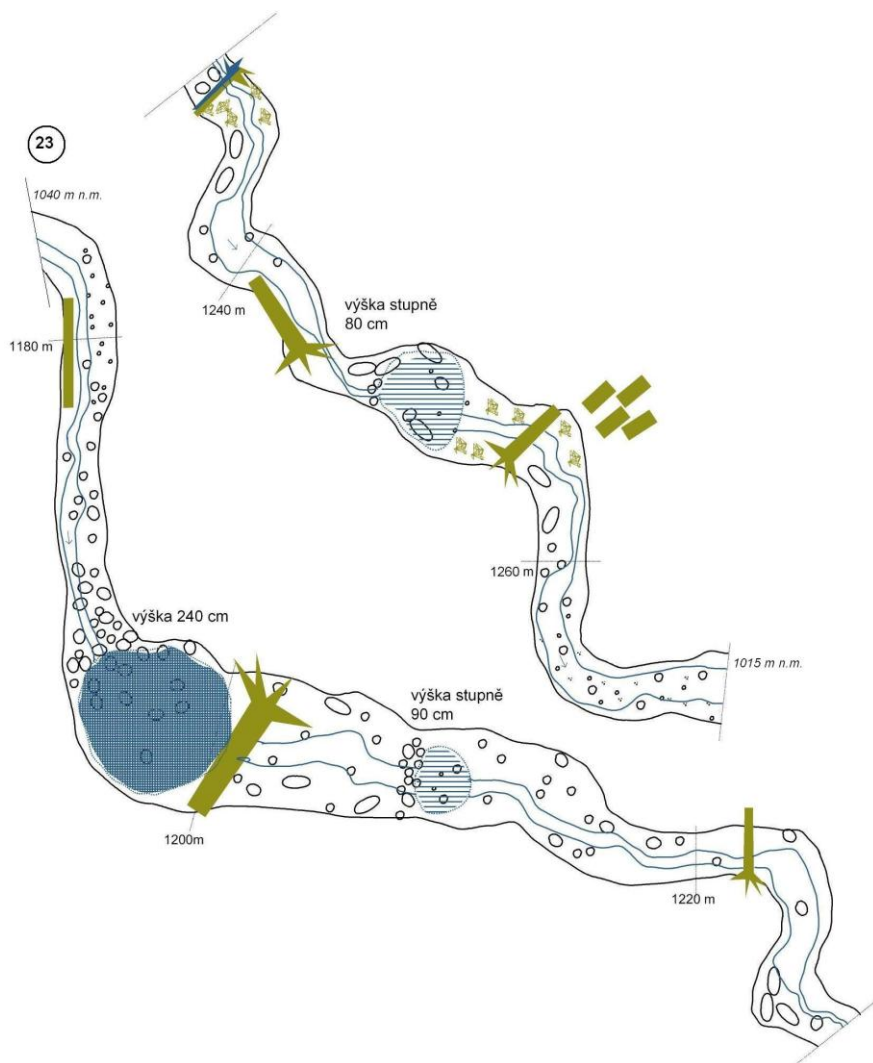
Od 1060. metru se v korytě nachází velké množství klastů všech velikostí /I-V/ (79), které spolu s větvemi s dřevními úlomky tvoří kratší (1 m) úsek sucha, ve kterém je koryto přehrazeno menším kmenem tvořícím asi 30 cm vysoký stupeň. Koryto je klasty zaplněno až do asi 1080. metru, od tohoto místa dál se jejich množství významně snižuje. Výjimku tvoří středokorytová akumulace valounů na přibližně 1095. metru. Po asi 5 m úseku s přítomností větví se nalézá menší skalní výchoz.

Obr. č. 79 Pravostranná akumulace valounů

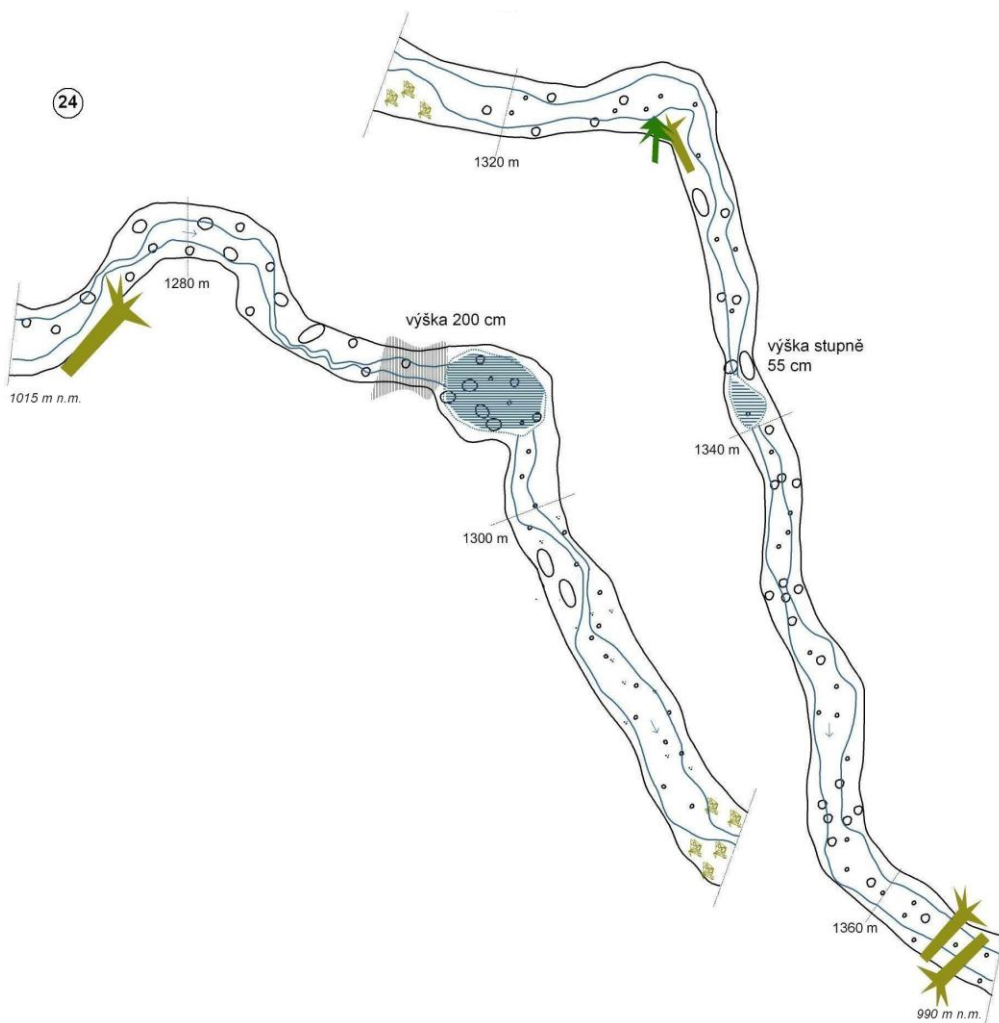




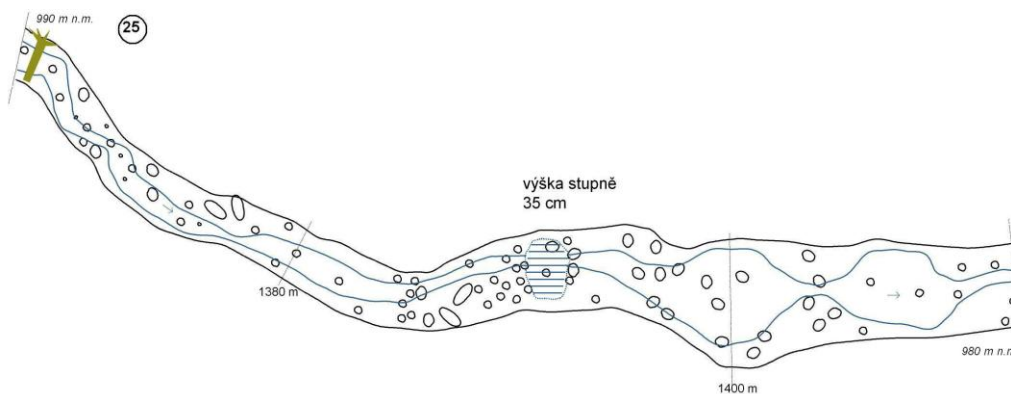
Na 1110. metru se vytvořila levostranná akumulace balvanů /IV/, která nutí vodní tok k zúžení proudu z asi 1 m až na méně než 30 cm. Koryto je zde přemostěno větším kmenem, stejně jako o 8 m dál, v místě skalního výchozu. Přibližně na 1130. metru je koryto rozšířeno vlivem přítomnosti obřích bloků o průměru větším než 1-2 m. Je možné, že sem byly zavlčeny vlivem periglaciálních procesů, protože transport takto rozměrných klastů by nebyl možný ani při nejvyšších vodních stavech. Na 1135. metru se nahromadily větve a dřevní úlomky z kmenů a vzniká tak úsek sucha. Souvislý proud je obnoven před 1140. metrem. Na 1155. metru vystupuje skalní výchoz tvořící kaskádu o výšce asi 75 cm. Následující tůň je hluboká asi 35 cm a její dno je tvořeno valouny. Za ní následuje asi 25 m dlouhý úsek s absencí dobře určitelných forem, který je tvořen především jemnozrnnějším materiálem /I-III/.



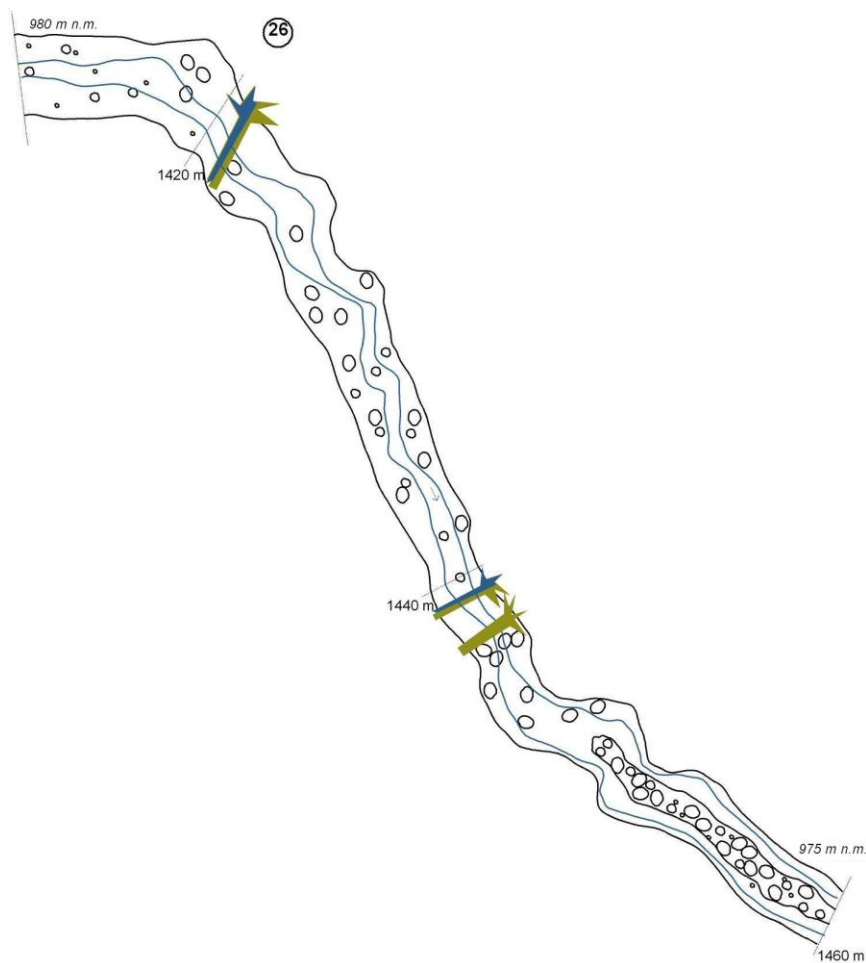
Na 1195. metru vytvořila akumulace neuspořádaně seskupených balvanů vysokou kaskádu (240 cm), která se noří do nejhlubší tůně Křížového potoka, jež dosahuje hloubky až 140 cm a délky 5 m. Po dalších 5 m se z valounů a balvanů vytvořil 90 cm vysoký stupeň, za kterým následuje tůň s hloubkou výmolu do 30 cm. Koryto je v tomto místě dosti široké (přes 3 m), ale asi po 5 m se jeho šířka zmenšuje (méně než 1 m). Po přemostění kmenem na 1222. metru následuje pravostranná akumulace bloků o průměru větším než 1 m. Na 1235. metru přehrazuje koryto menší kmen, za kterým se hromadí větve. Kmeny také koryto na několika místech přemostují (1242. a 1252. metr). Druhá sekvence stupeň-tůň tohoto úseku se vytvořila na 1250. metru. Stupeň je tvořen skalními bloky o průměru větším než 1 m, které zasahují i na okraje tůně. Její dno je však tvořeno i jemnozrnnějším materiálem /II/. Následuje úsek silně poznamenaný pokácenými kmeny na svazích, které dodávají do koryta větve a dřevní úlomky (1255, 1275, 1315 m).



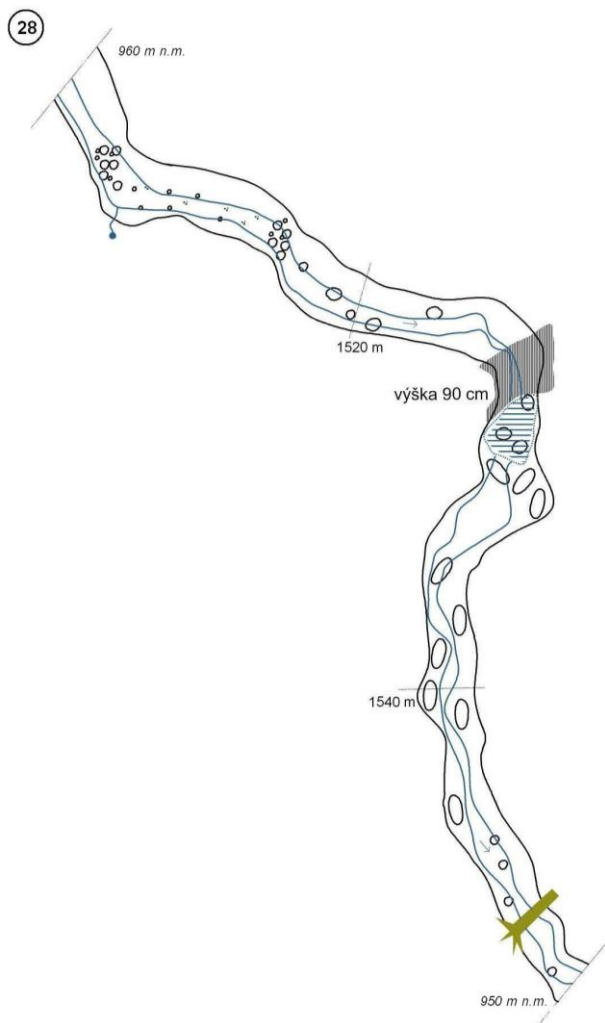
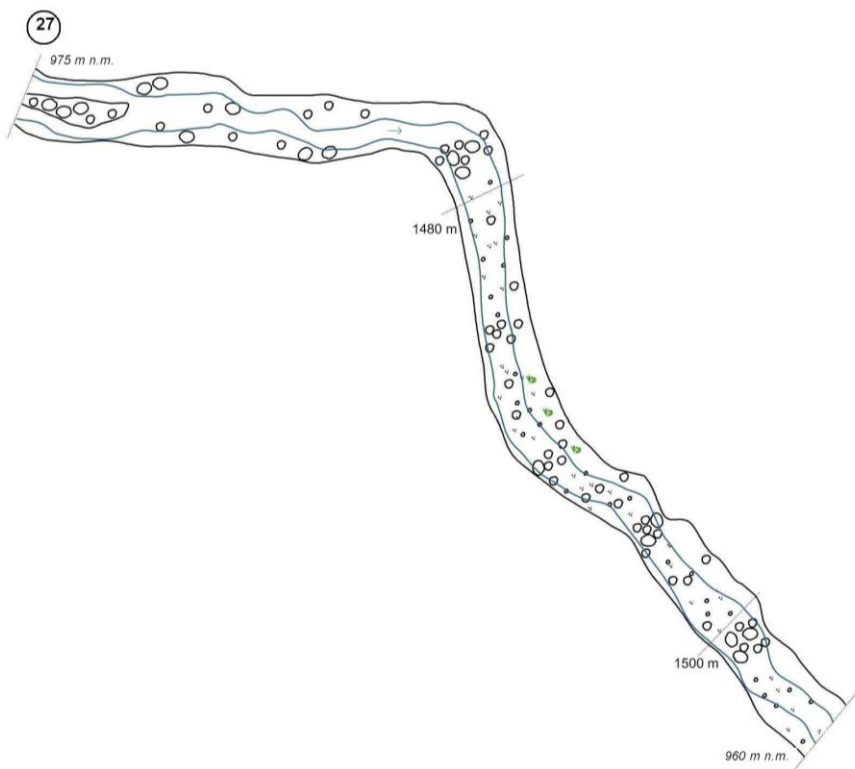
Na 1295. metru se objevuje výchoz odolných poloh horniny, v tomto případě ruly a vzniká tak 2 m vysoký skalní přepad ukončený v rozlehlé tůni. Přibližně o 10 m dále se zvyšuje obsah jemnozrnných sedimentů /I, II/, a to až do 1315. metru, kde je koryto vyplněno větvemi a dřevními úlomky. V tomto úseku se vytvořila jedna sekvence stupeňtůň (1339. metr). Od tohoto místa ve stavbě koryta opět dominuje spíše jemnozrnný až střednězrnný materiál /I-III/.



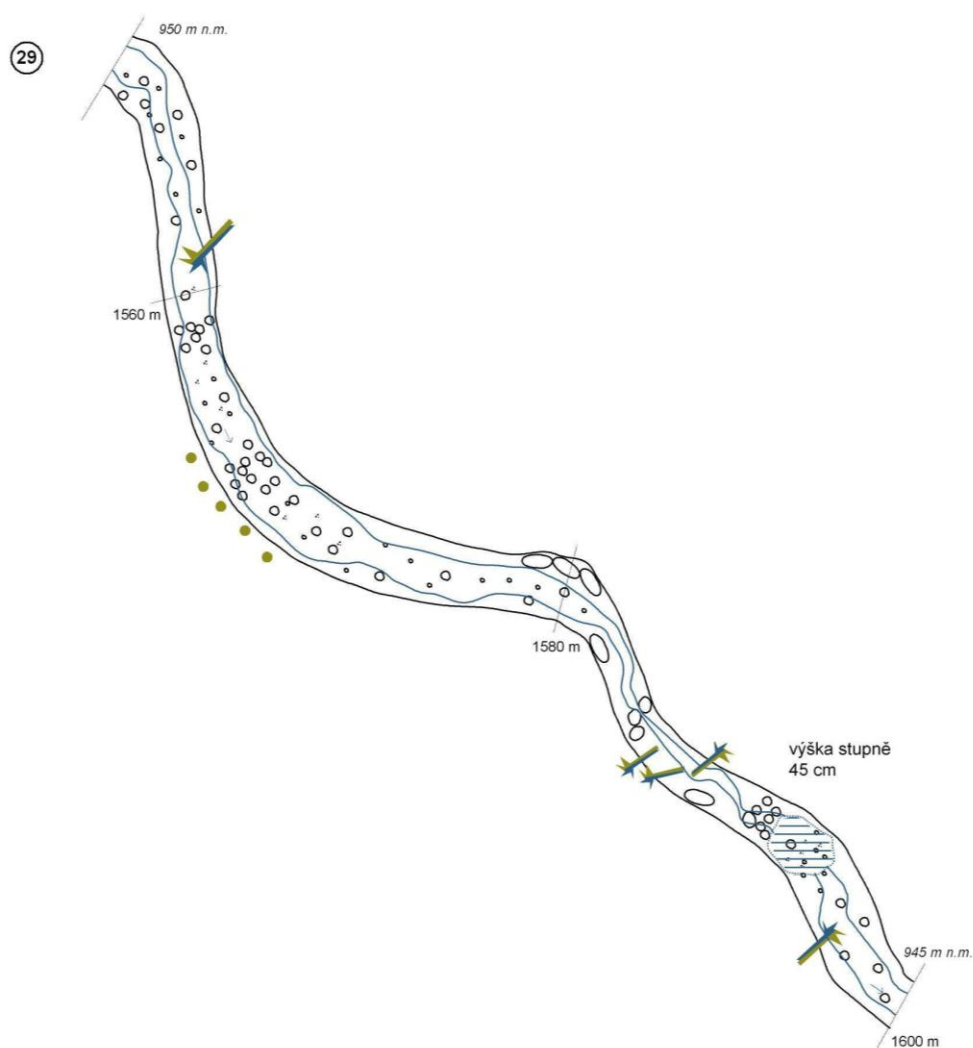
Přibližně od 1360. metru se koryto udržuje jednotný ráz a jeho dno je tvořeno jemnozrnnějším materiálem /I-III/. Výjimečně se objevují balvany či skalní bloky (1379. a 1388. metr). Na 1390. metru vytvořila akumulace valounů nižší stupeň a drobnější tůň, jejíž dno je tvořeno také valouny. Přibližně od 1400. metru se zvětšuje šířka koryta na 5 m a značně kolísá šířka vodního toku /od 50 cm do 3 m/.



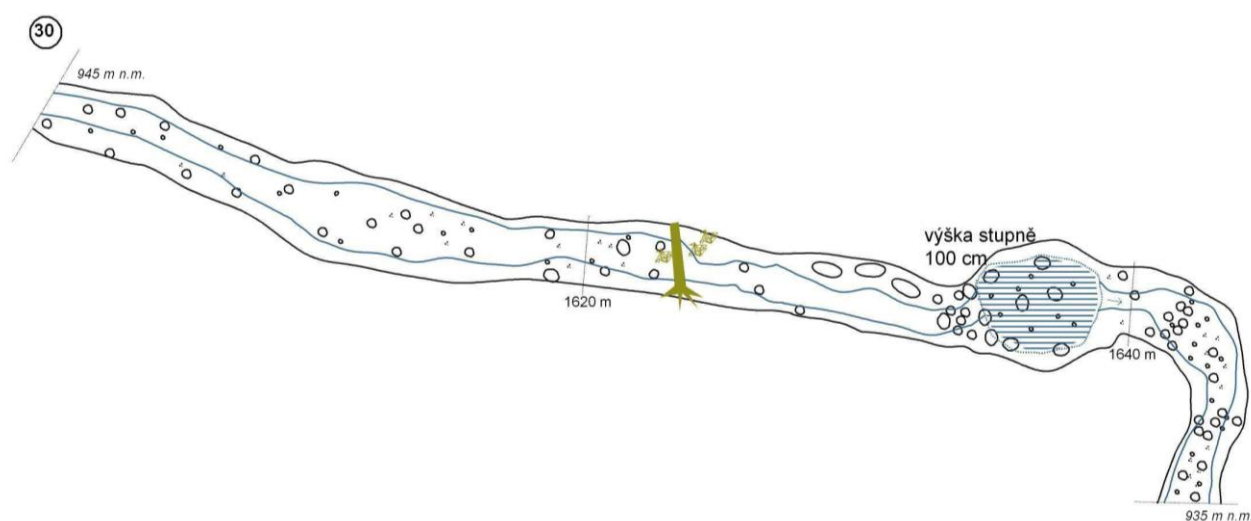
Následuje úsek bez význačných korytových forem, dno je tvořeno klasty velikosti hrubého šterku až balvanů. Klidný ráz koryta narušují jen kmeny přehrazující ho na 1420. a 1440. metru. Přibližně na 1430. metru se ve středu koryta rozkládá asi 10 m dlouhá středokorytová akumulace, v jejímž složení dominují balvany.



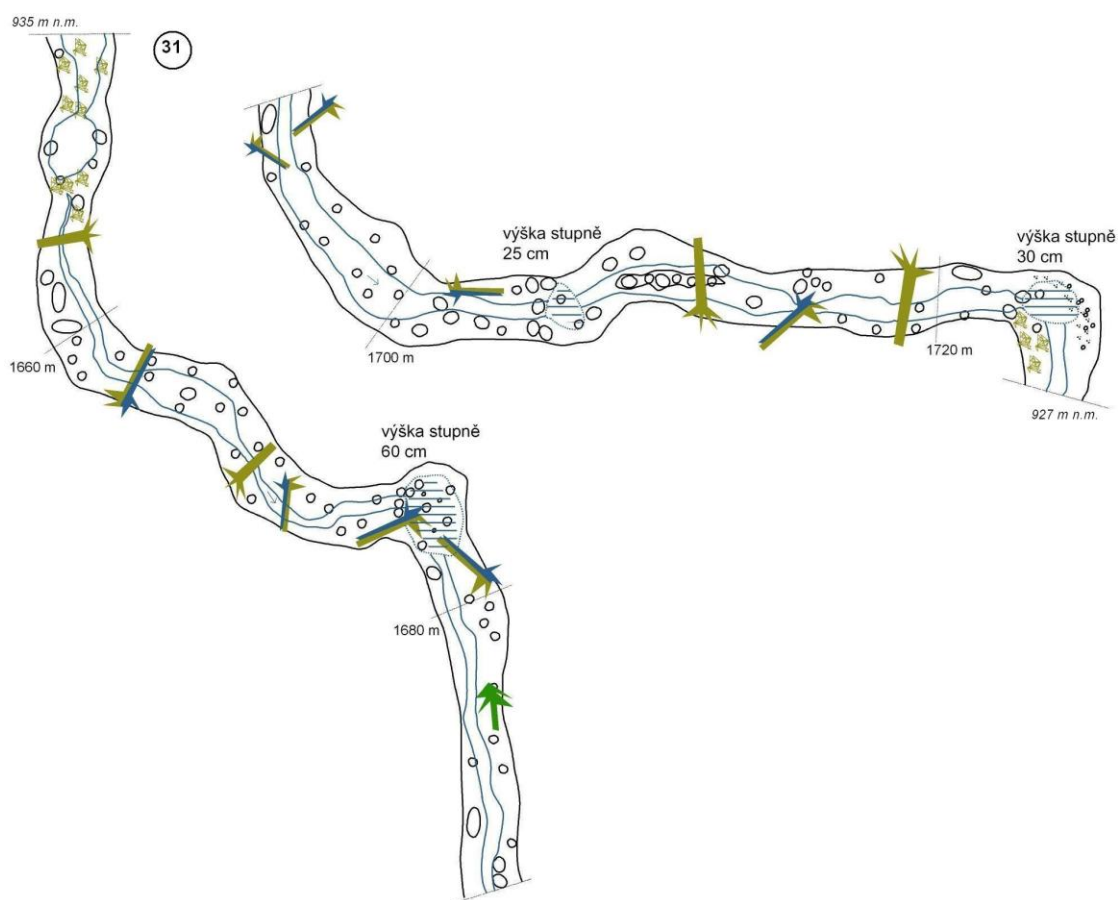
I následující, asi 75 m dlouhý úsek se vyznačuje absencí dobře vymežitelných dnových forem. Dno tohoto úseku je tvořeno především valouny a jemnozrnnějším materiálem /I, II/, jsou patrné náznaky tvorby stupňů, které však nedosahují výšky ani 20 cm. Místy je patrné zatravnění, jinak však vodní tok vyplňuje téměř celou šířku koryta. Na 1510. metru se ve vzdálenosti do 50 cm od koryta nachází malá zdrojnice. Jediným výrazným přerušením jednotného rázu koryta je menší skalní výchoz, tvořící 90 cm vysokou kaskádu, na kterou navazuje mělčí (do 30 cm) tůň. Přibližně od 1530. metru koryta se významně zvyšuje množství skalních bloků, které po následujících 20 m ve velikostním složení klastů dominují.



Asi od 1550. metru koryta se opět zmenšuje velikost klastů tvořících dno, dominuje materiál velikosti jemného štěrku až valounů (akumulace na 1570. metru). Výjimku ve velikosti klastů představuje pouze oblast skalních bloků na 1580. metru. Do formování koryta se více zapojují padlé kmeny, tvořící bariéry. Mezi výše zmíněnými kmeny se vytvořila menší sekvence stupeň-tůň s typickou skladbou velikostí.



Následující sekvence stupeň-tůň na 1639. metru se vyznačuje 100 cm vysokým stupněm, což je v případě Křížového potoka maximum. Tato sekvence je od té předchozí oddělena asi 30 m dlouhým úsekem rovného dna tvořeného jemnozrnným materiálem /I, II/. Od přibližně 1640. metru se opět zvyšuje množství sedimentů v korytě, dominuje složka valounů.



Od 1650. metru dále se významně projevuje zalesnění povodí. V úseku dlouhém asi 60 m se nachází 8 kmenů zasahujících do koryta, z nichž některé mají přímý vliv na šířku vodního toku. Dále se v tomto úseku vytvořily 3 sekvence stupeň-tůň, jejichž vzájemná vzdálenost odpovídá sedmi až osmi násobku šířky koryta. Na 1705. metru je menší středokorytová akumulace.



V posledních 100 m je koryto výrazně ovlivněno deluviálními a deluviofluviálními sedimenty, které tvoří jeho podloží. Především v posledních 40 metrech koryta jsou tyto sedimenty výrazně akumulované jak v jeho středu, tak i po stranách. V této části toku se vytvořili 3 sekvence stupeň-tůň s výškou stupně 40 – 70 cm. Vzájemná vzdálenost těchto sekvencí odpovídá trojnásobku až šestinásobku šířky koryta. Přibližně na 1760. metru je výrazná akumulace sut'ového materiálu, větví a dřevních úlomků, která nutí proud ke změně směru. Co se týče velikosti klastů, dominují valouny a balvany deluviálního původu, místy se vyskytují skalní bloky. Při ústí do Jeleního potoka se koryto Křížového potoka rozšiřuje a vytváří menší náplavový kužel.

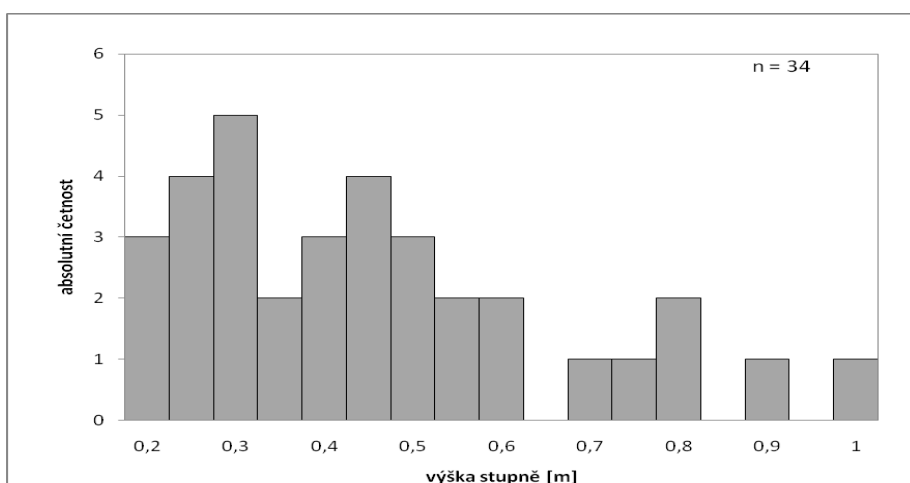
6. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

6.1 Výsledky měření

Výška stupně

Nejčastější výška stupně náležela do intervalu 30 – 50 cm. Maximální výška stupně byla zjištěna 1 m, minimální potom 20 cm. Průměrná hodnota činí 45 cm, medián odpovídá 43,5 cm.

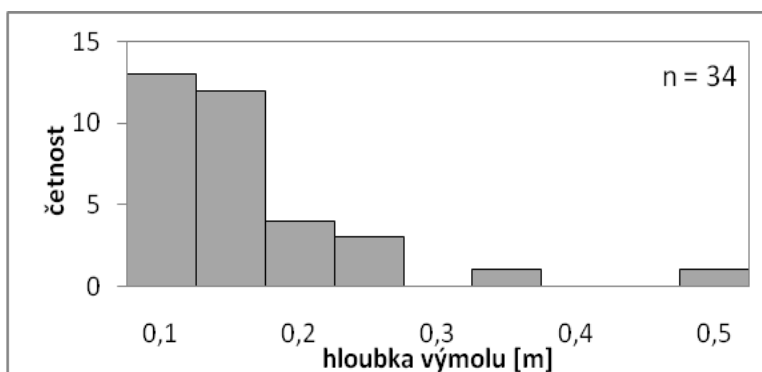
Graf č. 2 Četnosti výšky stupňů



Hloubka výmolu

Hloubka výmolu se pohybovala mezi 10 až 50 cm, přičemž dominovala hloubka do 15 cm. Hloubky nad 25 cm se již objevují výjimečně. Průměrná hloubka výmolu činila 15,5 cm, hodnota mediánu je 13,5 cm.

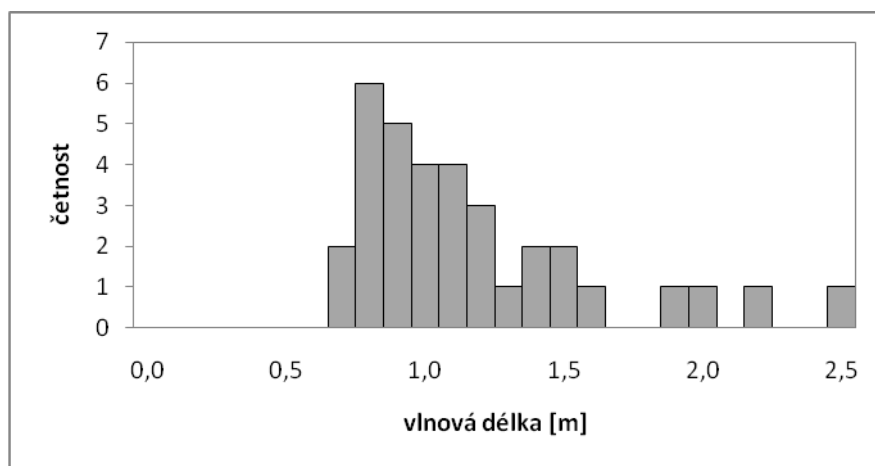
Graf č. 3 Četnosti hloubky výmolu



Vlnová délka tůně

Vlnová délka tůně byla naměřena v rozpětí od 70 cm do 2,5 m. Nejčastější délka se pohybovala mezi 80 – 120 cm, vlnové délky nad 150 cm byly zjištěny ojediněle. Průměrná hodnota je 117,9 cm, medián činí 105 cm.

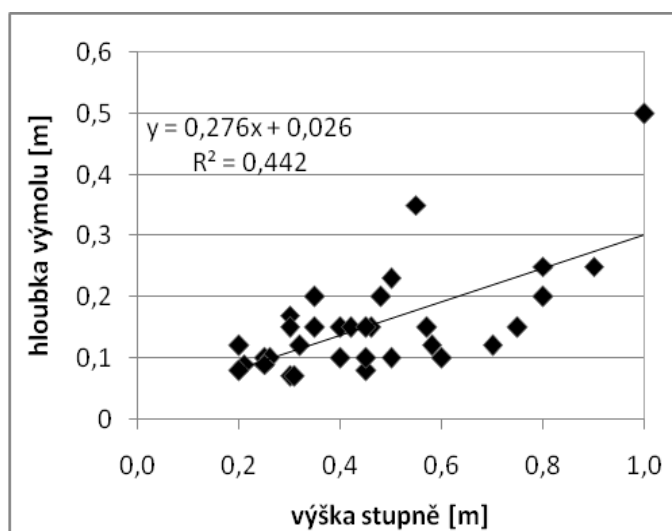
Graf č. 4 Četnosti vlnové délky tůní



Zdroj: vlastní měření

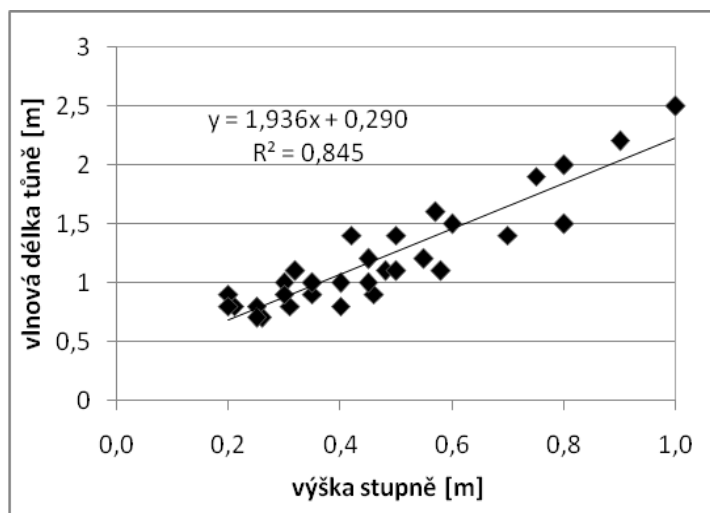
Co se týče vzájemných vazeb mezi zjišťovanými parametry, nebylo zřetelně prokázáno, že s výškou stupně roste i hloubka výmolu.

Graf č. 5 Vztah výšky stupně a hloubky výmolu.



Výraznou závislost naopak vykazují výška stupně a vlnová délka tůně, což ve svých výzkumech dokázali např. CHARTAND – WHITING (1999). Bylo zjištěno, že čím vyšší je výška stupně, tím větší je i vlnová délka následující tůně. V případě Křížového potoka potom platí, že s rostoucí výškou stupňů je tento vztah slabší.

Graf č. 6 Vztah výšky stupně a vlnové délky tůně

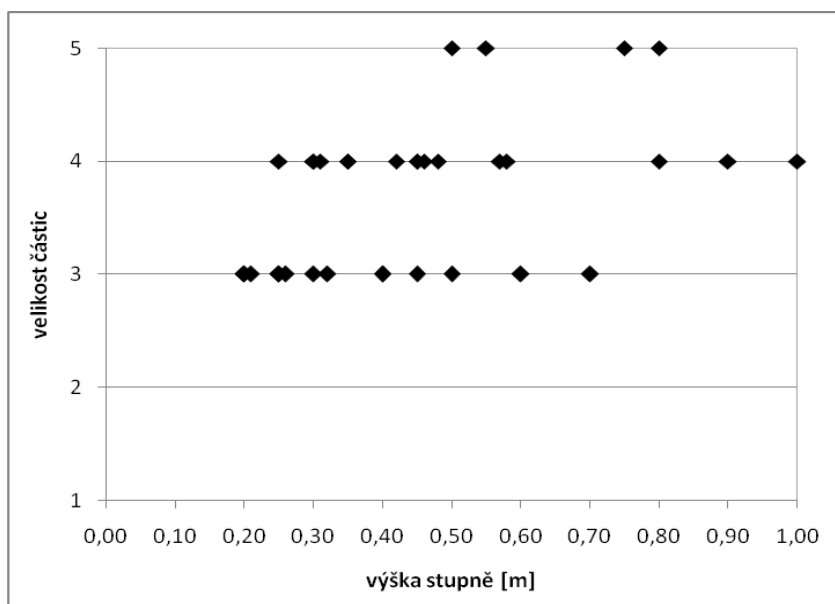


Velikost částic

Stupně bývají tvořeny materiálem větší velikosti, než dna tůní. Srovnatelný počet stupňů byl tvořen klasty o průměru 11 až 50 cm a 51 až 100 cm. Jedná se tedy o frakci valounů a balvanů. Pouze ve 4 případech tvořily stupně balvany o průměru větším než 1 m. Dna tůní byla ve většině případů tvořena částicemi o velikosti 6 až 10 cm, tedy zrnitostní frakcí hrubého štěrku, necelou 1/3 případů tvořily velikosti částic menší než 5 cm nebo v intervalu 11 až 50 cm. Dále platí, že materiál tvořící stupně více vytříděný, než materiál tvořící tůně, kde byly často v menší míře zastoupeny i klasty o větších průměrech.

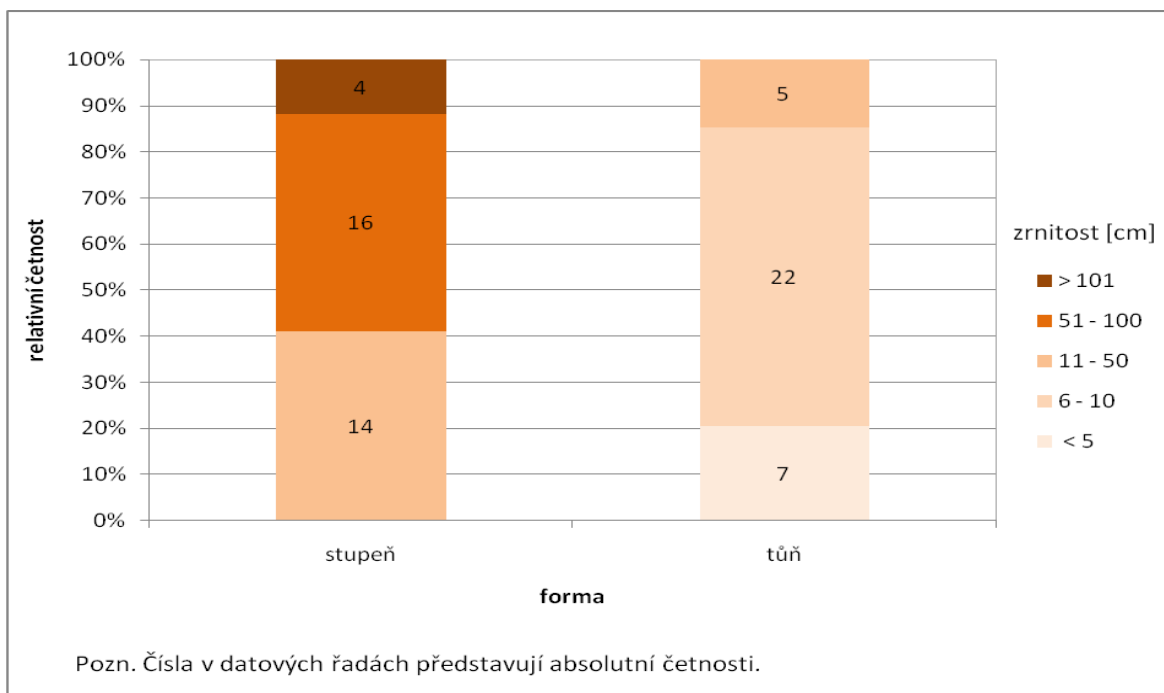
Následující graf vyjadřuje vztah mezi výškou stupně a velikostí části stupně, která je zde vyjádřena číselným označením intervalů, které byly pro určení velikosti částic používány v celé práci. Graf ukazuje, že vazba mezi sledovanými parametry není výrazná. Nelze tedy říci, že s většími klasty roste i výška celého stupně.

Graf č. 7 Vztah výšky stupně a zrnitosti částic



Zastoupení jednotlivých velikostních intervalů klastů tvořících stupně nebo dna tůň zobrazuje následující graf.

Graf č. 8 Zastoupení jednotlivých zrnitostních intervalů v sekvencích stupeň-tůň



7. DISKUZE

V první části následující diskuze bych ráda porovnávala své výsledky s poznatky zjištěnými během výzkumu na 2,79 km dlouhém úseku vodního toku Skałka v polské části východních Krkonoš. Jednalo se o jeho střední tok ležící v nadmořské výšce 625,5 až 1285 m. Terénní průzkum zde provedli DABROWSKA a KASPRZAK v letních měsících let 2002 a 2003 po extrémních srážkách, které v tomto jinak spíše suchém období způsobily rozvodnění Skałky. Mapovaný úsek má spád asi 24 % a nachází se v zalesněné oblasti asi 200 m od sídla Karpacz. Tato blízkost sídelní jednotky představuje hlavní rozdíl obou sledovaných povodí. Zatímco koryto Křížového potoka je antropogenní činností ovlivněno pouze v podobě zpevnění cesty, která jej přetíná, sledovaný úsek koryta Skałky je výrazně nepřímo ovlivněn přítomností 3 mostků a několika cest.

Potok Skałka je na rozdíl od Křížového potoka tokem konsekventním. V geologické stavbě jeho podloží lze rozlišit tři rozdílné jednotky. Na horním toku sledovaného úseku tvoří podloží krystalické břidlice, následují ruly a dále jednotka tvořená žulami a rulami. Jelikož nebyl mapován dolní tok Skałky až k jejímu ústí, chybí zde úsek tvořený deluviálními, či deluvio-fluviálními sedimenty, jak je tomu v případě Křížového potoka.

Stejně jako v případě Křížového potoka se i na Skałce místy rychle mění charakter koryta z aluviálního na skalní, a to v případě skalních výchozů. Těch zde bylo určeno celkem 5, z toho 2 na krystalických břidlicích, 2 na rulách a 1 na žulách. Na Křížovém potoce bylo identifikováno 16 skalních výchozů, 13 na podloží tvořeném svory a fylity a 3 na rulách. Třikrát vyšší počet skalních výchozů na Křížovém potoce může svědčit o lišícím se limitním rozměru pro jejich zanášení do plánu u obou prací.

Dno koryta ve sledovaném úseku Skałky bylo označeno jako šterko-balvanité, s nezanedbatelným množstvím skalních bloků neschopných transportu ani za nejvyšších vodních stavů. Skalní bloky zjištěné na Skałce dosahovaly průměru až 4 m. Tento jev, typický pro horská povodí, byl potvrzen i na příkladě Křížového potoka, kdy byla maximální velikost bloků 3 m. Tyto bloky spolu s bariérami z kmenů, větví a dřevních úlomků mohou vytvářet překážky, před kterými dochází k hromadění jemnozrnného až hrubozrnného materiálu, což bylo prokázáno na obou sledovaných povodích.

Co se týče fluviálních procesů, u obou koryt lze vymezit různě dlouhé, nepravidelně rozmístěné úseky s převahou akumulace, eroze, nebo podemílání břehů, ke

kterému dochází vlivem zvýšeného působení boční eroze. Na některých místech k tomuto podemílání dochází pouze během vysokých vodních stavů, což platí u obou sledovaných koryt. Úseky akumulární se shodně nacházejí v oblastech nižšího spádu vodního toku nebo v místech erozních rýh s přísunem suťového materiálu ze svahů. V případě Skačky je to také pod mostky, které jej přemostňují. V oblastech středokorytových akumulací se často vodní tok rozdvouje a zvětšuje se tak šířka koryta. V případě Skačky dosahovala až 22 m, u Křížového potoka byla maximální šířka naměřena 8 m.

Lze shrnout, že koryta Skačky a Křížového potoka vykazují všeobecně shodné rysy, co se týče jejich morfologie a charakteru, přičemž platí, že v případě Skačky jsou nejen fluviální procesy intenzivnější a zjištěné jevy tak dosahují větších rozměrů. Z důvodu názorného zobrazení skutečností jsou v Příloze č. 1 uvedeny Schematické plány obou sledovaných koryt.

Co se týče sledování morfometrických parametrů jednotlivých struktur koryta, konkrétně sekvence stupeň-tůň, byla potvrzena lineární závislost mezi výškou stupně a vlnovou délkou tůně, kterou ve svých pracích uvedli CHARTRAND a WHITING (1999). Naopak nebylo potvrzeno pravidlo o velikosti rozestupu po sobě jdoucích sekvencích stupeň-tůň, které udává, že tento rozestup odpovídá jeden- až čtyřnásobku šířky koryta v místě stupně (MONTGOMERY a BUFFINGTON, 1997).

Z korytových struktur typických pro horská povodí, které uvádějí MONTGOMERY a BUFFINGTON (1997) byl potvrzen výskyt 3-4 forem. Jedná se o kaskádu, sekvenci stupeň-tůň, rovné dno a o náznak vodopádu.

8. ZÁVĚR

Křížový potok je jedním ze subsekventních toků východních Krkonoš. Pramení ve výšce 1315 m n.m. a svým tokem vytváří říční koryto více než 1800 m dlouhé. Morfologický charakter jeho koryta je dán především vysokým spádem toku, geologickým podložím, hydrologickými epizodami s vysokými vodními stavy, které se vyskytují s nízkou frekvencí a dále přítomností deluviálních akumulací objevujících se po celé délce koryta. Nemalý vliv má výrazné zalesnění povodí, se kterým je spojeno vytváření korytových bariér z kmenů a dřevních úlomků.

Typickým znakem koryta Křížového potoka je jeho značná různorodost, kdy se na krátkých úsecích může rychle a výrazně měnit jeho aluviální charakter. Dochází k tomu tam, kde na povrch vystupují odolné polohy hornin a koryto tak získává charakter skalní.

Po celé délce koryta lze vymezit rychle se střídající úseky erozní, akumulační a úseky se zřetelným podemletím břehů dosahujícím maximální výšky 30 cm. K posledně jemnovanému dochází vlivem odolných překážek v korytě, které nutí proudnici ke změně směru, nebo při epizodách s vysokými vodními stavy. Podél koryta jsou také patrné erozní rýhy vzniklé za pohybu mur.

Akumulační úseky jsou podmíněné buď fluviální činností kdy se v místech s nižším spádem vytváří štěrkové či valounové lavice nebo ostrovy, dále přítomností deluviálních sedimentů z více než 50° strmých svahů, nebo výskytem obřích klastů či kmenů stromů, které vytváří překážky a dochází u nich k hromadění jemnozrnnějšího materiálu. Akumulace mohou často přerušovat vodní tok a vznikají tak i několik metrů dlouhé úseky bez tekoucí vody, případně může docházet k proudění vody pod suťovým materiálem. V oblasti rozsáhlejších středokorytových akumulací a v úsecích toku s ostrovem z pevnějších poloh hornin dochází k rozdvojení toku a k rozšíření koryta.

Ze struktur typických pro koryta horských vodních toků jsou zastoupeny především sekvence stupeň-tůň, kterých bylo zjištěno 34 a dále kaskády vázané většinou na skalní výchozy, či jejich kombinace v podobě struktury kaskáda-tůň. Ve 3 případech, kdy voda stéká bez kontaktu s podložím se sklonem větším než 70° by se dalo hovořit o malých vodopádech. Místy se v úsecích s nižším sklonem vytváří několik metrů dlouhé úseky rovného dna. Co se týče evorzních tvarů, nebyly identifikovány obří hrnce ani evorzní kotle.

Dno je tvořeno klasty všech velikostí, od jemnozrnného štěrku až po sklaní bloky s maximálním průměrem přes 3 m, přičemž dominující složku představuje hrubý štěrk, valouny a balvany. Velikost částic se liší v jednotlivých strukturách. Stupně jsou nejčastěji tvořeny balvany, zatímco ve velikostním složení dna tůní dominuje hrubý štěrk.

Průměrná výška stupňů v sekvenci stupeň-tůň činila 45 cm, ale dosahovala až 100 cm. Průměrná hloubka výmolu v tůni odpovídala 15,5 cm, maxima byla 50 cm. Vlnová délka tůně dosahovala až 250 cm, průměrně však 118 cm. Výraznou lineární závislost lze vysledovat mezi výškou stupně a vlnovou délkou tůně.

Maximální výška převýšení v podélném sklonu toku byla naměřena 240 cm, maximální hloubka tůně byla zjištěna u kombinace kaskáda-tůň a odpovídala 140 cm.

Koryto vytváří již od horního toku typické údolí tvaru písmene „V“, které je nejsevernější ve středním úseku toku. Při svém ústí vytváří vodní tok malý náplavový kužel.

Závěrem lze říci, že koryto Křížového potoka vykazuje znaky typické pro horská zalesněná povodí se strmými přilehlými svahy.

Předkládaná práce přináší nové informace o jednom z krkonošských potoků a lze na ni dobře navázat výzkumem dalších koryt horských vodních toků.

9. BIBLIOGRAFIE

BALATKA, B. - SLÁDEK, J. *Evorzní tvary v Čechách jejich geneze*. Rozpravy ČSAV - řada matematických a přírodních věd, roč. 87, sešit 7. Praha: Academia, 1977. 98 s.

BALATKA, B. – KALVODA, J. *Geomorfologické členění reliéfu Čech*. 1. vyd. Praha: Kartografie, 2006. 79 s.

BOHÁČ, J. *Půdy východních Krkonoš*. In Opera Corcontica, č. 6. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku, 1969, s. 13-23.

DABROWSKA, A. – KASPRZAK, M. *Struktura koryta w malej zlewni górskiej na przykładzie potoku Skalka w Karkonoszach wschodnich*. In Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, roč. 2007, č. 16, s. 173-186.

DEMEK, J. *Obecná geomorfologie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1988. 480 s.

ed. FLOUSEK, J. *Krkonoše: příroda, historie, život*. Praha: Basset, 2007. 864 s. ISBN 978-80-7340-104-7.

HARRELSON, RAWLINS a POTYONDY *Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique*. Fort Collins: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain and Range Experiment Station, 1994. 61 s.

Dpostupné z < <http://www.stream.fs.fed.us/publications/PDFs/RM245E.PDF> >
[cit. online 2010-3-1]

Hydrologické poměry ČSSR, díl I., díl II. Praha: HMÚ, 1965, 1967. 410 s. 510 s.

CHALOUPSKÝ, J. a kol. *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989. 288 s.

CHALOV, R. *Comparative analysis and typology of channel porcesses in mountain, foreland and flatland*. In. Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains. Prace Geograficzne, zeszyt 116. Kraków: IGSM Jagellonian University, 2006.

CHARTRAND, S.M. - WHITING, P.J. *Alluvial architecture in headwater streams with special emphasis on step-pool topography*. In *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 25. Issue 6. , 1999.

Dostupné z

< <http://www3.interscience.wiley.com/journal/72506078/abstract> > [cit. online 2009-11-1]

KAMYKOWSKA, M. – KASZOWSKI, L. – KRZEMIENÍ, K. *River channel mapping instruction. Key to the river bed description*. In *Prace geograficzne, zeszyt 104*. Kraków: 1999.

KRÁLÍK, F. – SEKYRA, J. *Geomorfologický přehled Krkonoš*. In. *Příroda Krkonošského národního parku*. Praha: SZN, 1969. s. 59-87.

LEOPOLD, L.B. - WOLMAN, M.G. - MILLER, J.P. *Fluviall Processes in Geomorphology*. New York: Dover Publications, 1995. 522 s. ISBN 0-486-68588-8.

MONTGOMERY, D.R. - ABBE, T.B. - BUFFINGTON, J.M. et al. *Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins*. In *Nature*, v. 381. 1996-6-13, s. 587-589. New York: Nature Publishing Group, 1996.

Dostupné z < <http://www.nature.com/nature/journal/v381/n6583/pdf/381587a0.pdf> > [cit. online 2010-1-10]

MONTGOMERY, D.R. - BUFFINGTON, J.M. *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. In. *Geological Society of America Bulletin*, v. 109, n. 5. Colorado: GSA 1997. s. 596-611.

Dostupné z <<http://gsabulletin.gsapubs.org/content/109/5/596.full.pdf+html>> [cit. online 2010-1-10]

PILOUS, V. *Evorzní tvary v řečištích krkonošsko-jizerského krystalinika*. Rozpravy ČSAV - řada matematických a přírodních věd, roč. 86, sešit 3. Praha: Academia, 1976. 76 s.

PILOUS, V. *Koryta horských řek I, II*. In *Krkonoše*, č. 10, 11. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku, 1986. s. 16-17.

PILOUS, V. *Geomorfologie vodopádů Labského a Obřího dolu v Krkonoších*. In Opera Corcontica, č. 26. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku, 1989. s. 5-49.

PILOUS, V. *Tektonické soutěsky a soutěskovitá koryta v Krkonošském krystaliniku*. In. Opera Corcontica, č. 28. Vrchlabí: Správa KRNAP, 1991. s. 5-26.

PILOUS, V. *Jelení důl – údolí ve znamení jelena nebo lva?* In Krkonoše, č. 11. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku, 2002. s. 24-25.

PODRÁZSKÝ, V. a kol. *Půdy lesních i nelesních ekosystémů Krkonoš*. In Projekt VaVaI SM/2/28/04 Zvýšení podílu přírodě blízké porostní složky lesů se zvláštním statutem ochrany, 2006.

Dostupné z <http://www.infodatasys.cz/biodivkrsu/p2006/3_07_n007.pdf>

[cit. online 2010-2-2]

SMOLOVÁ, I. – VÍTEK, J. *Základy geomorfologie Vybrané tvary reliéfu*. 1. vyd. Olomouc: UPOL, 2007. 189 s. ISBN 978-80-244-1749-3.

STRAHLER, A.N - STRAHLER, A.H. *Elements of physical geography*. New York: J. Wiley, 1979. 560 s.

SÝKORA, B. a kol. *Krkonošský národní park*. 1. vyd. Praha: SZN, 1983. 280 s.

TREVISANI, S. - CAVALLI, M. - MARCHI, L. *Reading the bed morphology of a mountain stream: a geomorphometric study on high-resolution topographic data*. In Hydrology and Earth System Sciences , v. 2009, n. 6. Copernicus Publication, 2009. s. 7287-7319. Dostupné z

<<http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/6/7287/2009/hessd-6-7287-2009-print.pdf>>

[cit. online 2010-3-15]

Mapové zdroje:

Základní mapa ČR v měřítku 1:10 000, list 03-42-02 Trutnov. Praha: ČÚZK, 2002.

Státní mapa 1 : 5 000 – odvozená, listy Žacléř 5-2 a 6-2. Praha: ČÚZK, 2000.

Půdní mapa ČR v měřítku 1:50 000, list 03-42 Trutnov. Praha: ČGÚ, 1993.

Geologická mapa Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Ústřední ústav geologický, 1992.

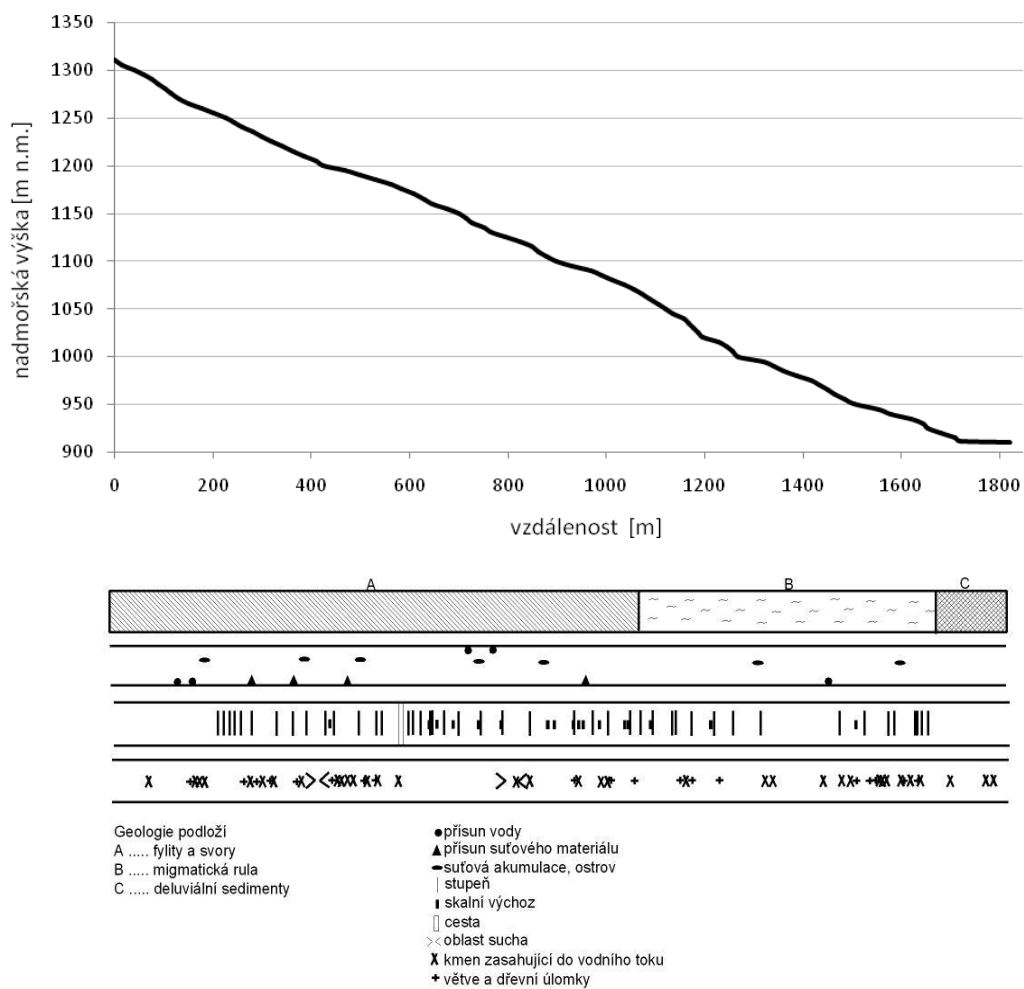
Datové zdroje:

CENIA, Česká informační agentura životního prostředí

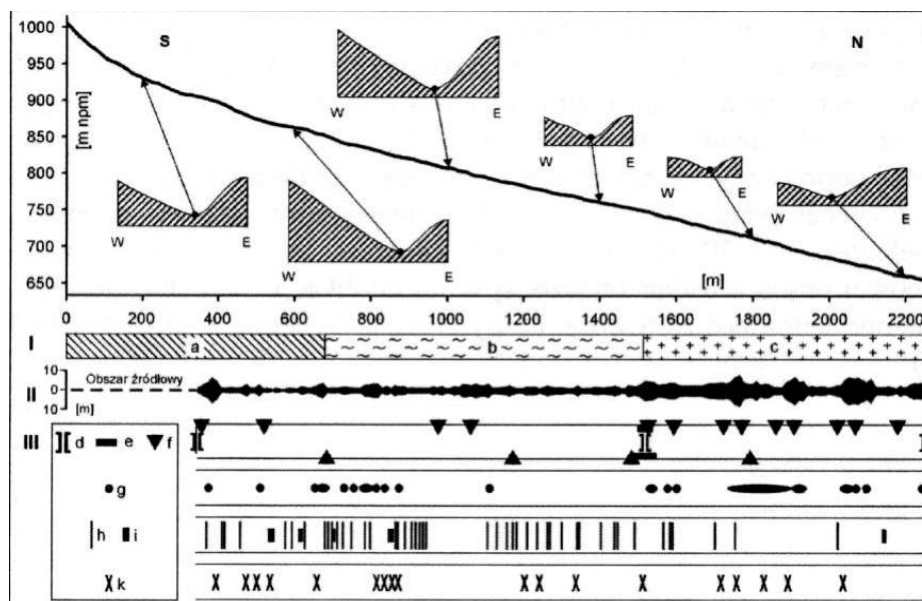
KRNAP, Krkonošský národní park

Příloha č. 1 Schematické plány koryta Křížového potoka a koryta Skalky

A) Křížový potok



B) Skałka



Legenda:

I – geologie (a - krystalické břidlice, b - ruly, c – žuly, ruly)

II – šířka koryta

III – objekty a procesy (d – mosty, e – mostní násepy, f – boční přísun vody a skalního materiálu, g – středokorytové akumulace, h – stupně, i – skalní výchozy, k – dřevní zátarasy)

Zdroj: DABROWSKA – KASPRZAK, 2007

Příloha č. 2 Orientační mapa povodí Křížového potoka s vyznačením úseků z kapitoly č. 4

